

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ
КАФЕДРА ПРОМИСЛОВОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ**

«На правах рукопису»
УДК 621.314.1

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри

_____ Ю.С. Ямненко

_____ (підпис) _____ (ініціали, прізвище)

“ _____ ” _____ 2019 р.

**Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра**

зі спеціальності _____ 171 Електроніка _____
(код і назва)

освітня програма (спеціалізація) _____ Електронні компоненти і системи _____
на тему: Комбінована система електроживлення тролейбуса та економічний
ефект від її використання _____

Виконав: студент _____ ІІ _____ курсу, групи _____ ДС-81мп _____
(шифр групи)

_____ Губка Євгеній Олександрович _____
(прізвище, ім'я, по батькові) _____ (підпис)

Науковий керівник _____ к.т.н, доц. Вербицький Є.В. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) _____ (підпис)

Консультант _____ _____
(назва розділу) _____ (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) _____ (підпис)

Рецензент _____ д.т.н., проф. Лошицький П.П. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) _____ (підпис)

Консультант _____
по нормоконтролю _____ к.т.н, доц. Батрак Л.М. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) _____ (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2019 року

Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського”

Факультет електроніки
(повна назва)

Кафедра промислової електроніки
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо - професійною програмою
Спеціальність 171 електроніка
(шифр і назва)

Освітня програма (спеціалізація) електронні компоненти і системи

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

(підпис) Ю.С. Ямненко
(прізвище ініціали)

«____» _____ 2019 року

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ ДИСЕРТАЦІЮ СТУДЕНТУ

Губка Євгеній Олександрович
(ПРІЗВИЩЕ, ІМ'Я, ПО БАТЬКОВІ)

1. Тема дисертації Комбінована система електроживлення тролейбуса та економічний ефект від її використання.

науковий керівник дисертації Вербицький Є.В. к.т.н., доц.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «07» листопада 2019 року № 3859-с

2. Термін подання студентом дисертації «11» грудня 2019 року _____

3. Об'єкт дослідження Типи високовольтних акумуляторів для комбінованої системи електроживлення тролейбуса

4. Вихідні дані Максимальна вхідна напруга $U_{\text{вх.макс}} = 600$ В, потужність двигуна тролейбуса $P_{\text{двигуна}} = 100$ кВт, ємність високовольтного акумулятора $C_{\text{акум}} = 71$ А·год, ємність батареї суперконденсаторів $C_{\text{конд}} = 30$ Ф.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити Вступ. 1.Огляд основних видів громадського транспорту. 2.Огляд схеми електричної структурної системи електроживлення звичайного тролейбуса та тролейбуса з високовольтним акумулятором. 3.Оцінка економічного ефекту використання використання

аккумулятором.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу Презентація

7. Орієнтовний перелік публікацій 1. Вербицький Є.В., Губка Є. О. Комбінована система електроживлення тролейбуса та економічний ефект від її використання // Мікросистеми, Електроніка та Акустика – 2019. (прийнято до друку)

2. Губка Є.О. «Комбінована система електроживлення тролейбуса та економічний ефект від її використання». Збірник праць Всеукраїнської науково практичної конференції «Новітні технології сучасного суспільства, м. Чернігів 12.12.2019 р.

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

9. Дата видачі завдання 06 листопада 2019 р

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Огляд літературних джерел за темою дисертації	15.02.19-01.03.19	
2	Ознайомлення з основними видами громадського транспорту в м.Києві, їх перевагами та недоліками	01.03.19-01.04.19	
3	Ознайомлення з літій-іонною технологією виготовлення акумуляторів	01.04.19-01.05.19	
4	Розробка схеми структурної електричної комбінованої системи електроживлення	01.05.19-01.06.19	
5	Розробка мапи автобусних та тролейбусних маршрутів м.Києва	01.06.19-01.07.19	
6	Визначення ємності ємнісного накопичувача	01.07.19-01.08.19	
7	Формування принципової схеми зарядного пристрою ємнісного накопичувача та його розрахунок	01.08.19-01.09.19	
8	Оцінка економічного ефекту від використання комбінованої системи електроживлення	01.09.19-01.11.19	
9	Розробка стартап-проекту	01.11.19-01.12.19	

Студент

Науковий керівник дисертації

(підпис)

(підпис)

Є.О. Губка

(ініціали, прізвище)

Є.В. Вербицький

(ініціали, прізвище)

АНОТАЦІЯ

Дисертація присвячена розробці комбінованої системи електроживлення тролейбуса з високовольтним акумулятором, яка дозволяє даному транспортному засобу рухатися в режимі автономного ходу. Запропоновано структуру комбінованої системи електроживлення, розраховано ємність акумулятора та визначено його тип. Розроблено новий спосіб відбирання енергії з використанням ємнісного накопичувача. Показано вплив заторів та аварій на прибуток тролейбусного маршруту. Пораховано загальний економічний ефект від використання запропонованої системи електроживлення та вказано її переваги порівняно з системою тролейбуса, який рухається виключно за рахунок напруги контактної мережі.

Ключові слова - тролейбус з високовольтним акумулятором; комбінована система електроживлення; ємнісний накопичувач; автономний хід; мобільність.

АННОТАЦИЯ

Диссертация посвящена разработке комбинированной системы электропитания троллейбуса с высоковольтным аккумулятором, которая позволяет данному транспортному средству двигаться в режиме автономного хода. Предложена структура комбинированной системы электропитания, рассчитано емкость аккумулятора и определены его тип. Предложен новый способ отъема энергии с использованием емкостного накопителя. Показано влияние заторов и аварий на прибыль троллейбусного маршрута. Посчитано общий экономический эффект от использования предложенной системы электропитания и указано ее преимущества по сравнению с системой троллейбуса, который движется исключительно за счет напряжения контактной сети.

Ключевые слова – троллейбус с высоковольтным аккумулятором; комбинированная система электропитания; емкостный накопитель; автономный ход; мобильность.

ANNOTATION

The dissertation is devoted to the development of a combined power supply system for a trolleybus with a high-voltage battery, which allows this vehicle to move in stand-alone mode. The structure of a combined power supply system is proposed, the battery capacity is calculated and its type is determined. A new method for removing energy using a capacitive storage is proposed. The effect of traffic jams and accidents on the profit of the trolleybus route is shown. The general economic effect of using the proposed power supply system is calculated and its advantages are indicated in comparison with the trolleybus system, which moves solely due to the voltage of the contact network.

Key words - trolleybus with high voltage battery; combined power supply system; capacitive accumulator; autonomous running; mobility.

ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП	4
РОЗДІЛ I. ОГЛЯД ОСНОВНИХ ВИДІВ ГРОМАДСЬКОГО ТРАНСПОРТУ	6
1.1 Загальні недоліки та переваги основних видів громадського транспорту.....	6
1.2 Тягова система автобуса.....	10
1.3 Тягова система електротранспорту.....	18
1.4 Тролейбус з високовольтним акумулятором.....	35
1.5 Літій-іонна технологія виготовлення акумуляторів.....	36
РОЗДІЛ II. ОГЛЯД СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СТРУКТУРНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ ЗВИЧАЙНОГО ТРОЛЕЙБУСА ТА ТРОЛЕЙБУСА З ВИСОКОВОЛЬТНИМ АКУМУЛЯТОРОМ	55
2.1 Схеми електричні структурні систем електроживлення звичайного тролейбуса та тролейбуса з високовольтним акумулятором.....	55
2.2 Зарядний пристрій ємнісного накопичувача та його розрахунок....	61
РОЗДІЛ III. ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОГО ЕФЕКТУ ВИКОРИСТАННЯ ТРОЛЕЙБУСА З ВИСОКОВОЛЬТНИМ АКУМУЛЯТОРОМ	68
3.1 Економічні переваги порівняно зі звичайним тролейбусом.....	68
3.2 Економічні переваги порівняно з автобусом.....	76
РОЗДІЛ IV. РОЗРОБКА СТАРТАП – ПРОЕКТУ	79
4.1 Опис ідеї проекту (технології).....	80
4.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	82
4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап – проекту.....	82
4.4 Розробка маркетингової програми стартап – проекту.....	85
ВИСНОВКИ	88
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	89
РЕФЕРАТ	

ВСТУП

Актуальність теми. Звичайний тролейбус має пониженою мобільністю через прив'язаність до напруги контактної мережі. В зв'язку з чим навіть при нормальному режимі функціонування вірогідність ускладнення курсування тролейбуса більша, ніж у звичайного транспорту, а у випадках зникнення напруги мережі через обледеніння ліній електропередач, їхній обрив, знеструмлення тягових підстанцій, чи у разі виникнення несправностей тролейбуса його рух припиняється. Це є проблемою для функціонування даного маршруту, а також ускладнює пересування інших видів транспорту, оскільки зменшується кількість вільних смуг руху. Така затримка тролейбуса спричинить затори і ДТП, що призведе до недосягнення повної окупності маршруту тролейбуса та невиконання працівниками нормованого робочого графіку. До того ж, через жорстку прив'язку тролейбусів до ліній електропередач, що живлять його тягову систему, на неелектрифікованих ділянках курсують автобуси, від чого страждає екологія міста, окрім цього їх використання є значно дорожчим за використання тролейбуса.

Для підвищення мобільності тролейбусів доцільно використовувати високовольтні акумулятори замість низьковольтних, що встановлюються зараз. Такі акумулятори, окрім низьковольтної бортової апаратури, можуть жити тягову систему тролейбуса.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертація була підготовлена відповідно до науково-дослідного плану кафедри промислової електроніки Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського".

Метою дослідження є визначення економічного ефекту використання тролейбуса з високовольтним акумулятором завдяки наступним факторам:

- менше навантаження на тягові підстанції через те, що під час розгону тролейбуса додаткова енергія береться з акумулятора, а під час гальмування енергія не передається в підстанцію, а накопичується в акумуляторі;

- можливість розширення мережі тролейбусів на ділянки з відсутньою лінією електропередач;
- виграш в мобільності при заторах та ДТП;
- можливість об'їзду ділянки, де відбулися збої в електромережі.

Об'єктом дослідження є транспортний засіб з комбінованою системою акумулювання енергії.

Предметом дослідження є параметри комбінованої системи електроживлення тролейбуса та оцінка ефективності її використання.

Метод дослідження – складання мапи автобусних та тролейбусних маршрутів міста Києва, побудова гістограми для визначення довжини шляху, на який має бути рохраховано комбінований накопичувач.

Наукова новизна одержаних результатів – запропоновано використовувати високовольтний комбінований накопичувач енергії для забезпечення автономного ходу тролейбуса. Сформульовано методику розрахунку ємності комбінованого накопичувача енергії за довжиною неелектрифікованих транспортних маршрутів міста Києва.

Практичне значення одержаних результатів: київському підприємству «Київпастрас» рекомендується впровадити комбіновану систему електроживлення в свої тролейбуси, адже вона є ефективною та економічно вигідною.

Апробація результатів дисертації. За темою дисертації було взято участь у всеукраїнській науково-практичній конференції «Новітні технології сучасного суспільства».

Публікації. За темою дисертації було здійснено публікацію в журналі «Мікросистеми, електроніка та акустика».

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 52 найменувань. Загальний обсяг дисертаційної роботи становить 95 сторінок, у тому числі 81 сторінку основного тексту, 37 рисунків та 14 таблиць.

1. ОГЛЯД ОСНОВНИХ ВИДІВ ГРОМАДСЬКОГО ТРАНСПОРТУ

1.1. Загальні недоліки та переваги основних видів громадського транспорту

Всі основні види громадського транспорту умовно можна розділити на два типи:

- транспорт, який працює на паливі(автобуси);
- електротранспорт(трамваї, тролейбуси).

Основною проблемою є те, що немає якогось певного оптимального виду транспорту, який би поєднував в собі переваги інших транспортних засобів і водночас був би позбавлений їх недоліків. Кожен вид громадського транспорту має свої переваги та недоліки, які роблять його в чомусь кращим, а в чомусь і гіршим за інші.

Розглянемо детальніше основні види громадського транспорту.

Автобуси. Автобуси є одним з найпоширеніших видів транспорту в місті, випереджаючи за цим показником електротранспорт.

До основних переваг автобусів належать:

- помітно вища мобільність порівняно з електротранспортом;
- відсутність потреби у прокладанні маршрутів для функціонування цього виду транспортних засобів.

Основні недоліки автобусів:

- забруднення навколишнього середовища;
- висока вартість експлуатації через ціни на паливо;
- значно більша вартість проїзду.

Електротранспорт. Розглянемо переваги та недоліки даних транспортних засобів на прикладі тролейбусів.

На даний момент тролейбуси є менш поширеним видом транспорту, ніж автобуси. Проте ця тенденція поступово змінюється завдяки явним перевагам тролейбусів, яких значно більше за недоліки.

Переваги тролейбусів порівняно з автобусами:

- тролейбуси не здійснюють викидів вихлопних газів в навколишнє середовище, в той час як автобуси та інший транспорт на паливі є основними забруднювачами повітря в місці [2]. Це проілюстровано на рис.1.1.

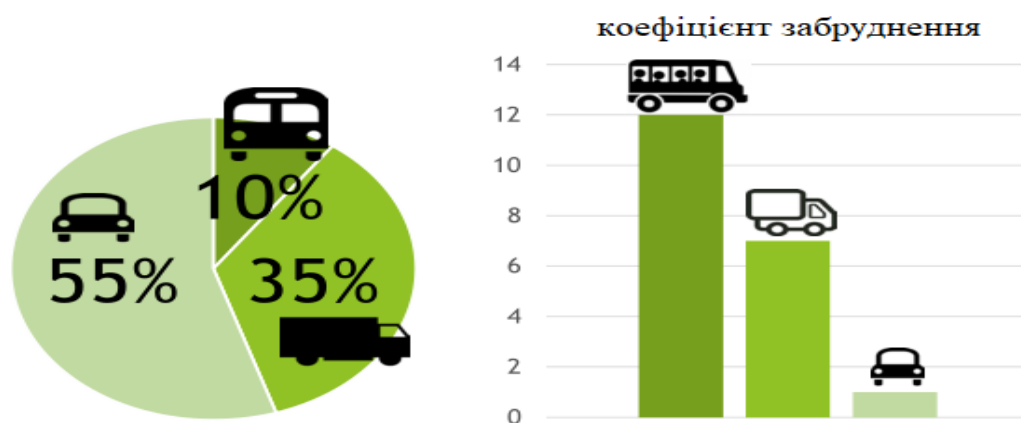


Рис.1.1. Забруднення повітря транспортними засобами на паливі

- термін служби рухомого складу тролейбуса більше, ніж термін служби автобуса.
- витрати на обслуговування тролейбусного парку нижче, ніж на обслуговування автобусного парку. Це проілюстровано на рис.1.2.

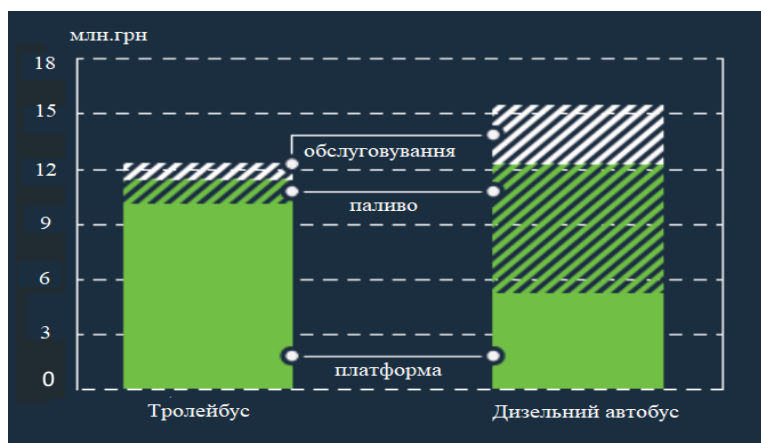


Рис.1.2. Порівняння вартості експлуатації тролейбуса і дизельного автобуса

- собівартість перевезень тролейбусним транспортом нижче, ніж автобусним.
- при експлуатації на гірських трасах тролейбус не вимагає установки спеціального ретардера, оскільки його роль благополучно виконує тяговий двигун.
- двигун тролейбуса допускає досить значні за величиною короточасні перевантаження. Електродвигун може розвивати повну потужність у всьому діапазоні швидкостей, що також важливо при експлуатації в гористій місцевості.
- на тролейбус можна встановити систему рекуперації енергії в контактну мережу, що забезпечує економію електроенергії, особливо при роботі на ділянках зі складним рельєфом.
- тяговий електродвигун більш надійний, ніж двигун внутрішнього згоряння.
- сучасний тролейбус значно менш шумний, ніж автобус. Основними джерелами шуму в тролейбусах є компресор, системи опалення та кондиціонування, а в деяких моделях — ще й головний редуктор, мотор-генератор та системи управління двигуном. В сучасних тролейбусах ці шуми або усунені, або значно знижені. Теоретично тролейбуси можуть бути зроблені практично безшумними, але повна безшумність може стати джерелом небезпеки для пішоходів.
- тролейбус використовує електричну енергію, що виробляється на електростанціях, ККД яких вище, ніж у двигуна автобуса. Причому джерелом електроенергії для тролейбуса може служити будь-яка доступна електростанція.
- місткість низькопідлогового тролейбуса зазвичай більше, ніж у низькопідлогового автобуса, оскільки не потрібно місця для розміщення паливних баків, двигун та агрегати трансмісії тролейбуса набагато компактніші, а частину електроустаткування можна розмістити на даху.

Переваги тролейбусів порівняно з трамваями:

- тролейбус використовує те ж дорожнє полотно, що і автомобільний транспорт, в той час як рух по трамвайних коліях може бути ускладненим або навіть повністю забороненим [4]. В результаті економиться міський простір і значно знижуються капітальні витрати на будівництво тролейбусної лінії.
- тролейбус може відхилитися від осі контактної мережі на відстань до 4,5 м, іноді навіть більше, завдяки чому порівняно легко маневрує в транспортному потоці і не має проблем з об'їздом перешкод на зразок неправильно припаркованого або несправного автомобіля, і навіть іншого тролейбуса — за умови, що в останнього опущені обидві штанги.
- гумові шини тролейбуса мають краще зчеплення з дорогою, ніж металеві колеса трамвая, що дозволяє експлуатувати його на трасах з великими ухилами (до 8—12 %).
- тролейбус зазвичай використовує спільні з автобусами зупинки, розташовані на тротуарі. Зупинки трамвая на суміщеному полотні розташовані в глибині дороги і вимагають виходу пасажирів на проїжджу частину.
- тролейбус може проходити по кривим меншого радіуса, ніж трамвайний вагон.
- оскільки тролейбус має дводротову систему електропостачання, то він не викликає появи підземних блукаючих струмів, які різко скорочують термін служби дорогих підземних металевих споруд.

Недоліки тролейбусів:

- початкові витрати на розгортання тролейбусної системи вищі, ніж для автобусної, оскільки вимагають будівництва тягових підстанцій та контактної мережі.
- провізна здатність тролейбусної лінії не перевищує таку у автобусної лінії і, звісно, завжди нижче, ніж у трамвайній лінії.
- тролейбус дуже чутливий до стану дорожнього покриття та контактної мережі. При необхідності проїхати пошкоджену ділянку дороги

доводиться значно знижувати швидкість, щоб уникнути сходу штанг з дротів контактної мережі.

- тролейбусна мережа відрізняється порівняно низькою гнучкістю через прив'язку до контактної мережі. Тим не менш, застосування систем автономного ходу і дуобусів вирішує цю проблему.

- на відміну від трамвая, кузов тролейбуса не заземлений, тому потрібно прийняття додаткових заходів забезпечення електробезпеки: контроль струму витоку, забезпечення подвійної ізоляції електричних кіл, регулярні перевірки стану ізоляції.

- фактично неможливий обгін одного тролейбуса іншим, якщо це не передбачено контактною мережею — для цього необхідно опускати штанги на одному з тролейбусів.

- контактна мережа тролейбуса захащує вулиці та площі міст; плутанина проводів і підвісних тросів виглядає не естетично і псує історичний вигляд міста [43-47].

- тролейбус, не оснащений системою автономного ходу не може відхилитися від контактної мережі більше, ніж на 4,5 метра, що іноді призводить до ускладнень при об'їзді дорожніх заторів і пошкоджень контактної мережі. Також при значному відхиленні від контактної мережі необхідно знижувати швидкість, щоб уникнути сходу штанг з дротів контактної мережі.

Далі розглянемо тягові системи автобусів та електротранспорту, їхні переваги та недоліки; ознайомимося з механізмом подачі електроенергії до електричного транспорту та типами його електричних ланцюгів .

1.2. Тягова система автобуса

Більшість автобусів використовують дизельні тягові двигуни. Тому розглянемо принцип роботи саме дизельного двигуна, структура якого зображена на рис.1.3.

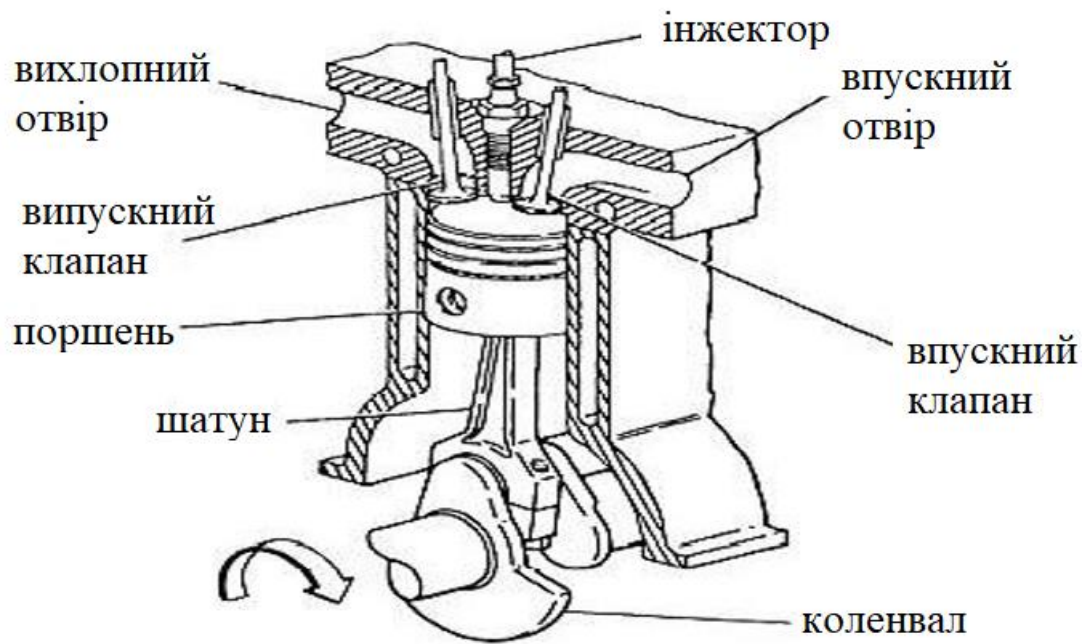


Рис.1.3. Структура дизельного двигуна

Є два типи дизельних двигунів: двотактні та чотирьохтактні. Розглянемо принцип дії кожного з них.

Чотирьохтактний двигун

1-й такт. Впуск. Відповідає 0° - 180° повороту коленвала. Через відкритий приблизно на $345-355^{\circ}$ впускний клапан повітря надходить в циліндр, на $190-210^{\circ}$ клапан закривається. При цьому до $10-15^{\circ}$ повороту коленвала одночасно відкритий і випускний клапан. Час спільного відкриття клапанів називається перекриттям клапанів [10].

2-й такт. Стиснення. Відповідає 180° - 360° повороту коленвала. Поршень, рухаючись до ВМТ (верхньої мертвої точки), стискає повітря від 16 до 25 раз.

3-й такт. Робочий хід, розширення. Відповідає 360° - 540° повороту коленвала. При розпилюванні палива в гаряче повітря відбувається ініціація згоряння палива, тобто часткове його випаровування, утворення вільних радикалів в поверхневих шарах крапель і в парях. Нарешті, воно спалахує і

згорає в міру надходження з форсунки, а продукти горіння, розширюючись, рухають поршень вниз [50]. Уприскування і, відповідно, займання палива відбувається трохи раніше моменту досягнення поршнем мертвої точки внаслідок деякої інертності процесу горіння. Відмінність від випередження запалювання в бензинових двигунах в тому, що затримка необхідна тільки через наявність часу ініціації, яке в кожному конкретному двигуні - величина постійна і залежить тільки від особливостей даної конкретної конструкції двигуна. Згорання палива в дизельному двигуні відбувається, таким чином, стільки часу, скільки триває подача порції палива з форсунки, починаючись поблизу ВМТ [11]. З цього випливають два важливі висновки:

Процес горіння триває рівно стільки часу, скільки потрібно для вприскування даної порції палива, але не довше часу робочого ходу. Це призводить до того, що робочий процес протікає при постійному тиску газів, через що двигун розвиває великий крутний момент. Так як горіння триває при постійному тиску при будь-яких умовах, а час ініціації постійно, зміна моменту уприскування (аналогічно зміні моменту запалювання у карбюраторного двигуна) в процесі роботи дизеля не потрібно.

Співвідношення паливо / повітря в циліндрі може істотно відрізнятись від стехіометричного, причому дуже важливо забезпечити надлишок повітря, так як полум'я факела займає невелику частину обсягу камери згорання і атмосфера в камері повинна до останнього забезпечити потрібне вміст кисню. Якщо цього не відбувається, виникає масивний викид незгорілих вуглеводнів з сажею, (на сленгу залізничників «тепловоз дає ведмедя»).

У двигунів з акумуляторною паливною системою (Common Rail) за рахунок можливості управляти відкриттям форсунки незалежно від роботи ТНВД з'являється можливість оптимізувати процес вприскування і згорання палива за рахунок багатоімпульсної подачі [15]. Суть полягає в наступному: приблизно за 20-40 ° до ВМТ в циліндр впорскується невелика порція палива (5-30% від основної циклової подачі) - предвприск, що дозволяє сформувати початковий фронт полум'я. В результаті температура і тиск газів в циліндрі

плавно підвищуються, що сприяє кращому згорянню основної порції палива і знижує ударні навантаження на деталі двигуна. Предвприск став повсюдно застосовуватися на двигунах стандарту Євро-3, а починаючи з Євро-4 предвприск може бути і багатостадійним; приблизно за 2-7 ° до ВМТ починається подача першої частини основної порції палива, при цьому процес протікає як у звичайному дизелі з механічно ТНВД за винятком того, що не відбувається різкого підвищення тиску в циліндрі (воно вже підвищилося при початку згоряння яка випереджає порції палива) , тому двигун працює з меншим шумом; потім подача палива на деякий час припиняється і відбувається його більш повне згоряння; подається друга частина основної порції палива, за рахунок поділу подачі на дві частини вдається забезпечити з одного боку більш повне згоряння, а з іншого - більший період часу роботи циліндра при постійному тиску [35]. В результаті знижується токсичність відпрацьованих газів, двигун розвиває більший крутний момент при менших ударних навантаженнях і виробляє менше шуму. Поділ основної подачі палива на дві частини стало застосовуватися на двигунах стандарту Євро-4. Нарешті незадовго до відкриття випускного клапана подається невелика завершальна порція палива - поствприск, яка догоряє вже у випускному колекторі і турбокомпресорі [20]. В результаті цього забезпечується з одного боку ефективно доспалювання частинок сажі, а з іншого - підвищення потужності турбокомпресора, особливо на часткових режимах роботи двигуна, що згладжує ефект «турбоями». Поствприск став активно застосовуватися на двигунах стандарту Євро-5 і вище.

Таким чином багатоімпульсна подача палива істотно покращує практично всі характеристики дизеля і дозволяє наблизити його питому потужність до бензинових двигунів, а при наявності турбонадуву високого тиску - перевершити її. З цієї причини з розвитком систем Common Rail дизельні двигуни на легкових автомобілях стають все більш популярними.

4-й такт. Випуск. Відповідає 540° - 720° повороту коленвала. Поршень йде вгору, виштовхуючи відпрацьовані гази з циліндра через відкритий на 520° - 530° вихлопної клапан. Далі цикл повторюється.

Залежно від конструкції камери згоряння, існує кілька типів дизельних двигунів.

З нероздільною камерою: камера згоряння виконана в поршні, а паливо впорскується в надпоршневу простір. Головне достоїнство - мінімальна витрата палива. Недолік - підвищений шум («жорстка робота»), особливо на холостому ході. В даний час ведуться інтенсивні роботи по усуненню зазначеного недоліку [22]. Наприклад, в системі Common Rail для зниження жорсткості роботи використовується (часто багатостадійний) предвприск (що описано вище).

З роздільною камерою: паливо подається в додаткову камеру. У більшості дизельних двигунів така камера (вона називається вихровий або передкамерою) пов'язана з циліндром спеціальним каналом так, щоб при стисканні повітря, потрапляючи в ону камеру, інтенсивно завихрюватися. Це сприяє гарному перемішуванню палива, що впорскується з повітрям і більш повному згорянню палива. Така схема довго вважалася оптимальною для легких двигунів і широко використовувалася на легкових автомобілях. Однак, внаслідок гіршої економічності, останні два десятиліття йде активне витіснення таких двигунів двигунами з нероздільною камерою і з системами подачі палива Common Rail.

Двотактний двигун

Такти стиснення і робочий хід двотактного циклу аналогічні таким в чотиритактний циклі, але кілька вкорочені, а газообмін в циліндрі здійснюється в єдиному процесі - продування, що займає сектор між кінцем робочого ходу і початком стиснення. При робочому ході поршень йде вниз, через що відкриваються випускні вікна (в стінці циліндра) або через вихлопні клапани видаляються продукти горіння, трохи пізніше відкриваються впускні

вікна, циліндр продувається свіжим повітрям з повітродувки - здійснюється продування. Коли поршень піднімається, всі вікна закриваються. З моменту закриття впускних вікон починається стиск [1]. Перед досягненням поршнем ВМТ з форсунки розпилюється запалюється паливо. Відбувається розширення - поршень йде вниз і знову відкриває всі вікна і т. д. Продування є слабкою ланкою двотактного циклу. Час продувки, в порівнянні з іншими тактами, невеликий і збільшити його неможливо, інакше буде падати ефективність робочого ходу за рахунок його укорочення. У чотиритактному циклі на ті ж процеси відводиться половина циклу [41]. Повністю розділити вихлоп і свіжий повітряний заряд теж неможливо, тому частина повітря втрачається, виходячи прямо в вихлопну трубу. Якщо ж зміну тактів забезпечує один і той же поршень, виникає проблема, пов'язана з симетрією відкривання і закривання вікон. Для кращого газообміну вигідніше мати випередження відкриття і закриття вихлопних вікон. Тоді вихлоп, починаючись раніше, забезпечить зниження тиску залишкових газів в циліндрі до початку продувки. При закритих раніше вихлопних вікнах і відкритих - ще - впускних здійснюється дозарядка циліндра повітрям, і, якщо повітродувка забезпечує надлишковий тиск, стає можливим здійснення надуву.

Вікна можуть використовуватися і для випуску відпрацьованих газів, і для впуску свіжого повітря; таке продування називається щілинним або віконним. Якщо відпрацьовані гази випускаються через клапан в головці циліндра, а вікна використовуються тільки для впуску свіжого повітря, продування називається клапанно-щілинним (11Д45, 14Д40, ЯАЗ-204, -206). Кожен циліндр ПДП-двигунів містить два зустрічно-протилежно рухомих поршня; кожен поршень управляє своїми вікнами - один впускними, інший випускними (система Фербенкс-Морзе - Юнкерса - Корейво). Дизельні двигуни цієї системи сімейства Д100 використовувалися на тепловозах ТЕЗ, ТЕ10, танкові двигуни 4ТПД, 5ТД (Ф) (Т-64), 6ТД (Т-80УД), 6ТД-2 (Т-84), в авіації - на бомбардувальниках Junkers (Jumo 204, Jumo 205) [27].

У двотактному двигуні робочі ходи відбуваються вдвічі частіше, ніж у чотиритактному, але через наявність продувки і укорочення робочого ходу двотактний двигун потужніший такого ж за обсягом чотиритактного не в два, а максимум в 1,6-1,7 разів [2-4].

Раніше двотактні дизелі були широко поширені на всіх видах транспорту через високої питомої потужності при невеликому числі оборотів, яке обмежувалося як недосконалістю моторних матеріалів (наприклад, поршні дизелів доводилося робити чавунними), так і недосконалістю коробок передач (прямозубі з малими передавальними числами), тягових генераторів (недостатня міцність ротора і ненадійна робота колекторно-щіткових вузлів на високих обертах). Однак у міру вдосконалення як самих моторів, так і наведених ними агрегатів більш вигідним є форсування двигунів за рахунок підвищення числа обертів, чого домогтися на двотактних двигунах досить складно [36]. Тому чотиритактні дизелі вже до 1960-х років витіснили двотактні спочатку в автомобільному транспорті, потім на тепловозах, а потім і на суднах середнього тоннажу і в стаціонарних установках. І лише на великих морських суднах з безпосереднім (безредукторним) приводом гребного гвинта, з огляду на подвоєння кількості робочих ходів на одних і тих же оборотах двотактний цикл виявляється особливо вигідним при неможливості підвищити частоту обертання. Крім того, двотактний двигун технічно простіше реверсувати. В результаті з 1980-х років в двотактному виконанні випускаються тільки особливо тихохідні (50 - 200 об / хв) двигуни, які мають потужність 15 000 до 100 000 л. с.

У зв'язку з тим, що організувати продувку вихрової камери (або передкамери) при двотактному циклі складно, двотактні двигуни будуються тільки з нероздільними камерами згоряння, розміщеними зазвичай в поршні.

Порівняння основних параметрів двотактних та чотирьохтактних двигунів

- Літрова потужність. У 2-х тактних двигунів вища в 1.5-1.8 разів, ніж у 4-х тактних.
- Питома потужність (відношення потужності до маси двигуна). Також вища у 2-х тактних.
- Забезпечення подачі палива і очистки циліндра. 4-х тактні двигуни з газорозподільним механізмом, який відсутній у 2-х тактних двигунів.
- Економічність. Вище у 4-х тактних, витрати палива в яких приблизно на 20-30% нижчі, ніж у 2-х тактних.
- Система змащування. Масло для 2-х тактних двигунів розводиться в бензині або (значно рідше) подається з масляного баку у впускний колектор і згорає разом з паливом в поршневій камері. У 4-х тактних двигунів реалізована повноцінна система, яка забезпечує якісне змащування двигуна та тривале використання масла.
- Екологічність. У 4-х тактних вища. Вихлоп 2-х тактних двигунів має більшу токсичність.
- Шум під час роботи. 4-х тактні двигуни значно менш шумні.
- Складність конструкції. Вища у 4-х тактних через більш досконалу систему змащування та меншу частоту обертання коленвалу.
- Швидкість набирання обертів. 2-х тактні двигуни набирають оберти швидше.
- Обслуговування. Складніше у 4-х тактних через наявність газорозподільного механізму та більш складної системи змащування.
- Вага. 2-х тактні значно легші.
- Ціна. 2-х тактні значно дешевші.

Недоліки дизельного двигуна:

- висока вартість палива, необхідного для його функціонування;
- низька економічність;
- низький ККД;
- низька надійність такої тягової системи.

1.3. Тягова система електротранспорту

На рис. 1.4 показано конструкцію тягового електродвигуна, де 1 - болт; 2 - траверса; 3 - щітковий апарат; 4 - кабелі та шини; 5 - вентиляційний кожух; 6 - обмотка додаткового полюсу; 7 - осердя додаткового полюсу; 8, 12 - лабіринтове ущільнення; 9 - задня натискна шайба; 10, 24 - болти кріплення полюсів; 11 - підшипниковий щит; 13 - роликовий підшипник; 14 - підшипникова кришка; 15 - глуха кришка; 16 - остов; 17 - натискний конус; 18 - колектор; 19 - передня натискна шайба; 20 - обмотка вирівнювачів; 21 - осердя якоря; 22 - обмотка якоря; 23 - сталевий стрижень; 25 - обмотка головного полюса.

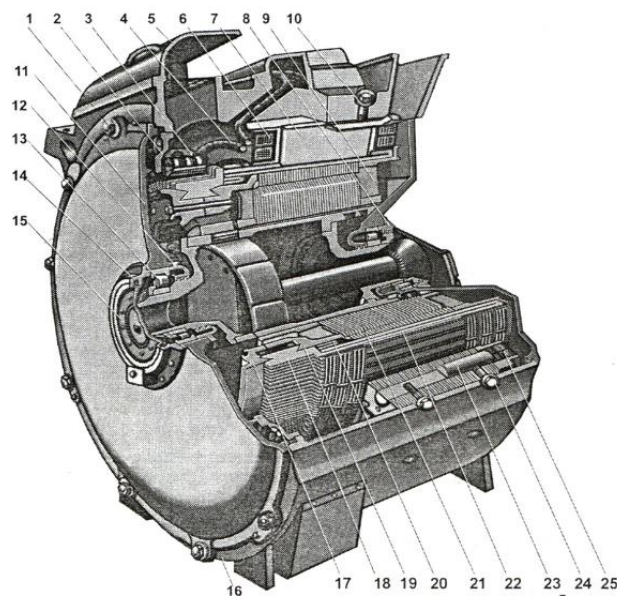


Рис. 1.4. Тяговий електродвигун.

Тягова електрична машина має шість головних та додаткових полюсів. Остов (16) циліндричної форми відлитий зі спеціальної сталі з високою механічною міцністю і високими магнітними властивостями [42]. На зовнішній поверхні остова є відливки для кріплення несучих кронштейнів, якими тяговий двигун кріпиться до рами візка. З боку, протилежного до колектора, у верхній частині остова знаходиться отвір, до якого кріпиться

вентиляційний кожух охолодження. Через верхній люк з кожухом (5), з боку колектора здійснюється викид повітря в атмосферу. Цей люк не служить для огляду щіткотримачів (3) і колектора (18). Отвір в нижній частині остова з боку колектора також призначений для його огляду [9]. Головні та додаткові полюси укріплені на внутрішній поверхні остова через прокладки, які служать опорою катушок і покращують відвід тепла від полюсів до остова. Осердя головного полюса набране з листової електротехнічної сталі товщиною 1,0 мм та стягнуте заклепками. Осердя кріпиться до остова двома болтами (24) із пружинними шайбами. Болти вгвинчені в сталевий стрижень (23), цим забезпечується рівномірність передачі тиску на листи сердечника при затягуванні болтів.

Катушка (25) головного полюса має 24 витки та намотана на широке ребро із двох проводів смугової міді, загальним перетином 2(2,8x28) мм (на двигуні електровоза ЧС2 — один провід перетином 5x28 мм). Катушка складається із двох шарів, розділених ізоляційною прокладкою (товщина 1 мм) з азбесту й картону. У кожному шарі 12 витків. Витки ізольовані одне від одного азбестовою стрічкою товщиною 0,3 мм та картоном. Зовнішня ізоляція катушки складається із семи шарів шовкослюдяної стрічки товщиною 0,12 мм і чотирьох шарів склотканини товщиною 0,1 мм. Для підвищення вологостійкості ізоляції катушки після намотування просочують компаундною масою, що заповнює всі порожнечі і надає катушці монолітність. До кінців обмоток срібним припоєм припаяні латунні скоби. У них, в свою чергу, впаяний вивідний кабель. Повітряний зазор між головним полюсом та якорем становить 8 мм, довжина головного полюса — 360 мм. Додатковий полюс складається із осердя (7) і катушки (6). Осердя набране з листової сталі товщиною 1,0 мм на двох сталевих прямокутних стрижнях товщиною по 40 мм. Сталеві листи сердечника закріплюють двома заклепками. Осердя кріпиться до остову двома шпильками із пружинними шайбами [38]. Шпильки вгвинчуються в сталеві стрижні товщиною 40 мм, встановлені між листами. Катушка додаткового полюса виготовлена зі

смугової міді перетином 4x35 мм, намотаної на вузьке ребро в один шар і складається з 21 витка. Ізоляція котушки така сама і у головного полюса.

В основі роботи колекторних двигунів лежить фізичне явище - втягування або виштовхування провідника з електричним струмом у магнітному полі. Щоб провідник зі струмом безперервно рухався між полюсами магніту, йому надають форми рамки, на обидва боки якої магніт діятиме одночасно, але у протилежних напрямках: один бік рамки втягуватиме, а другий - виштовхуватиме. За половину оберту рамка зупиниться. А щоб вона і далі оберталась у тому самому напрямку, у цю мить, треба змінити напрямок струму у рамці, тобто поміняти місцями кінці провідників, що підводять струм від джерела [11].

Для автоматичної зміни напрямку струму у рамці встановлено спеціальний перемикач - колектор. Зазвичай, його виготовлено із двох напівкруглих латунних пластин. До пластин притиснуто ковзні графітові контакти (щітки), крізь які до рамки надходить електричний струм. У промислових колекторних електродвигунах рамку із проводів намотують у пази, вирізані в залізному осерді. Залізо підсилює магнітне поле, яке діє на рамку. Ту частину двигуна, де намотані рамки, називають якорем, або ротором. Оскільки обмоток на якорі кілька, то й колектор складається з багатьох ізольованих одна від одної і від вала двигуна, латунних пластин.

Колектор жорстко закріплено на валу якоря. До колектора притискуються за допомогою пружин графітові щітки. Графіт для щіток і латунь для колектора вибрані тому, що під час обертання ротора ці матеріали мало стираються, а отже, забезпечується довший термін їх використання.

Під час роботи двигуна рух якоря передається валу, а з нього - безпосередньо робочим органам споживача. Вал обертається у підшипниках, запресованих у задню і передню кришки статора. Охолодження електродвигуна забезпечує вентилятор, крильчатку якого закріплено на валу.

Переваги електричного тягового двигуна:

- високий ККД;

- висока надійність;
- значно економічніший ніж будь-які двигуни на паливі.

Можливі два шляхи вирішення проблем міського електричного транспорту за рахунок використання в складі тягового електроприводу (ТЕП):

- імпульсних перетворювачів (ІП) на сучасній елементній базі з мікропроцесорною системою керування (МПСК);
- автономних інверторів напруги (АІН) з тяговими асинхронними електродвигунами (ТАД) та МПСК.

При порівняльному аналізі можна керуватися наступними критеріями:

- енергозбереження;
- затрати на модернізацію;
- експлуатаційні затрати;
- уніфікація електричного обладнання.

Використання ІП дозволяє до 30 % знизити енергозатрати [2], так як вилучаються пускові реостатів. При цьому тягове обладнання з імпульсним регулятором на базі IGBT-транзисторів забезпечує плавне регулювання струму як в пускових режимах, так і в режимах гальмування. В той же час тяговий асинхронний електропривод дозволяє [3]:

- збільшити в 1,5-2рази осьову потужність;
- підвищити на 20–30% властивості зчеплення;
- зняти принципові обмеження по частоті обертів ротора тягового електродвигуна;
- усунути контактну апаратуру з силових кіл;
- суттєво знизити витрати міді;
- знизити експлуатаційні затрати до 40%;
- збільшити термін служби електрообладнання;
- підвищити ККД електропривода на 1,5–2%.

Затрати на модернізацію ТЕП з ІП менші, так як використовуються штатні електродвигуни, а ІП має в своєму складі меншу кількість силових

напівпровідникових елементів та більш просту систему керування. В той же час в разі використання ІП та штатних тягових електродвигунів, наприклад, на трамвайних вагонах ТЗ, потрібно передбачити додатковий статичний перетворювач з асинхронним мотор-вентилятором для примусової вентиляції електродвигунів. А асинхронні тягові електродвигуни виготовляються з самостійною вентиляцією, тому такий перетворювач не потрібен. В даному випадку різниця в затратах між асинхронним електроприводом та електроприводом постійного струму буде менша. В обох випадках потрібно замінювати електромашинні перетворювачі власних потреб на статичні. При порівнянні асинхронного тягового електроприводу та тягового електроприводу з ІП і штатними електродвигунами постійного струму слід врахувати той фактор, що штатні електродвигуни мають обмежений ресурс роботи, а при їх заміні потребуються значно більші кошти, ніж для придбання асинхронних електродвигунів [33]. Експлуатаційні затрати при використанні асинхронного тягового електроприводу значно менші, так як асинхронний електродвигун майже не потребує затрат на обслуговування. Для оцінки можливостей уніфікації тягового електрообладнання, слід звернути увагу на основні параметри тягових електродвигунів трамвайних вагонів та тролейбусів. Штатні тягові електродвигуни суттєво різняться потужністю, часовими струмами, системами вентиляції та збудження. Тому при модернізації ТЕП трамвайних вагонів та тролейбусів шляхом введення ІП їх повна уніфікація неможлива. Потребується розробка декількох модифікацій ІП. При модернізації вищевказаних ТЕП за рахунок введення АІН з ТАД та МПСК уніфікація тягового електрообладнання можлива, так як відбудеться заміна тягових електродвигунів постійного струму на асинхронні. Потужність ТАД для трамвайних вагонів може складати 55-65 кВт, що дозволить покращити їх динамічні властивості [12]. При цьому два асинхронні електродвигуни, включених паралельно, будуть живитись від одного АІН. Потужність тягових електродвигунів для тролейбусів може складати 110-130 кВт. Для зчленованих тролейбусів їх необхідно буде ставити два, причому

кожен з ТАД буде житись від свого АІН. Що ж стосується систем керування, то можна використовувати як системи скалярного, так і векторного керування ТАД [4]. На рис.1.5 приведена структурна схема системи керування асинхронного електроприводу тролейбуса з одним ТАД.

До складу системи керування електроприводом входять:

- пульт керування;
- мікропроцесорна система керування;
- системи керування інвертором напруги;
- датчик постійної напруги;
- датчик постійного струму;
- датчики змінного струму за числом фаз ТАД;
- датчик обертів електродвигуна;
- дисплей.

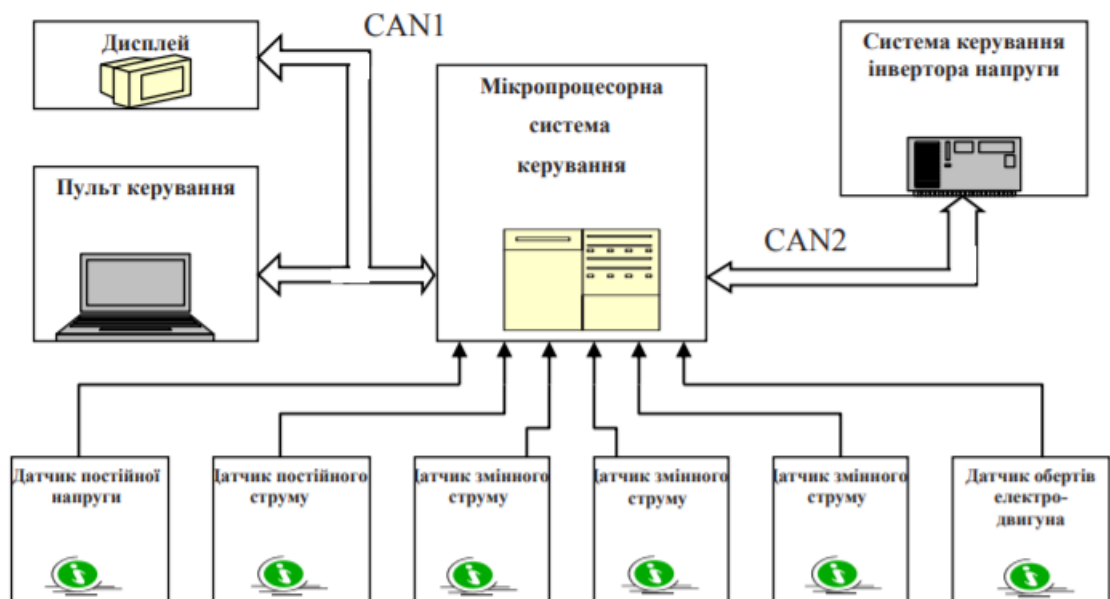


Рис. 1. 5. Структурна схема системи керування асинхронного електроприводу тролейбуса з одним ТАД

Система керування асинхронним електроприводом підпорядкована і складається з трьох рівнів. Найвищу ієрархію має пульт керування. На другому рівні знаходиться мікропроцесорна система керування. Система

керування інвертора напруги має найнижчий третій рівень. Зв'язок між пультом керування та МПСК здійснюють цифровим каналом зв'язку CAN1, а зв'язок між МПСК та системою керування інвертора напруги – цифровим каналом зв'язку CAN2. Датчики змінного струму потрібні для забезпечення зворотного зв'язку по фазному струму ТАД при формуванні МПСК закону керування:

$$\frac{U_1}{f_1} = const,$$

де U_1 - вихідна напруга ІН; f_1 - частота фазного струму ТАД.

Для утворення зворотного зв'язку по потужності, при формуванні МПСК закону керування $\frac{U_1}{\sqrt{f_1}} = const$ необхідні датчики постійного струму та напруги. Датчик обертів ТАД забезпечує роботу частотного каналу МПСК. Дисплей відображає режим роботи та основні параметри електроприводу. Для цього використовується інформаційна система (ІС). ІС призначена для збору, реєстрації й обробки даних, контролю процесів, що протікають у системі керування й в електроприводі. Вона є складовою частиною системи керування й складається з підсистем збору й обробки даних, зміни коефіцієнтів, зберігання даних, розрахунку контролюючих і діагностуючих параметрів, відображення, як у реальному часі, так і в режимі перегляду даних [26].

В якості центрального процесора системи керування можна застосувати спеціалізований сигнальний мікроконтролер типу TMS320LF2406A фірми Texas Instruments з набором вбудованих периферійних пристроїв. Даний мікроконтролер має високу продуктивність - до 40 млн операцій в секунду. В цифрових каналах зв'язку доцільно використовувати CAN – протокол, так як він відрізняється підвищеною стійкістю до перешкод, надійністю і забезпечує роботу по витій парі на значні відстані. Всі ці якості роблять CAN – протокол доволі привабливим для використання при розробці нових проектів. При використанні такої системи керування для асинхронного електроприводу зчленованого тролейбуса, кількість датчиків змінного струму, обертів ТАД та

система керування інверторами напруги повинні подвоїтись. Така структура системи керування асинхронного електроприводу прийнятна і для трамвайного вагону (рис.1.6).

Частотне регулювання асинхронного двигуна

Частотне регулювання кутової швидкості обертання електроприводу з асинхронним двигуном на даний час широко застосовується, оскільки дозволяє в широкому інтервалі плавно змінювати обороти обертання ротора як вище, так і нижче номінальних значень.

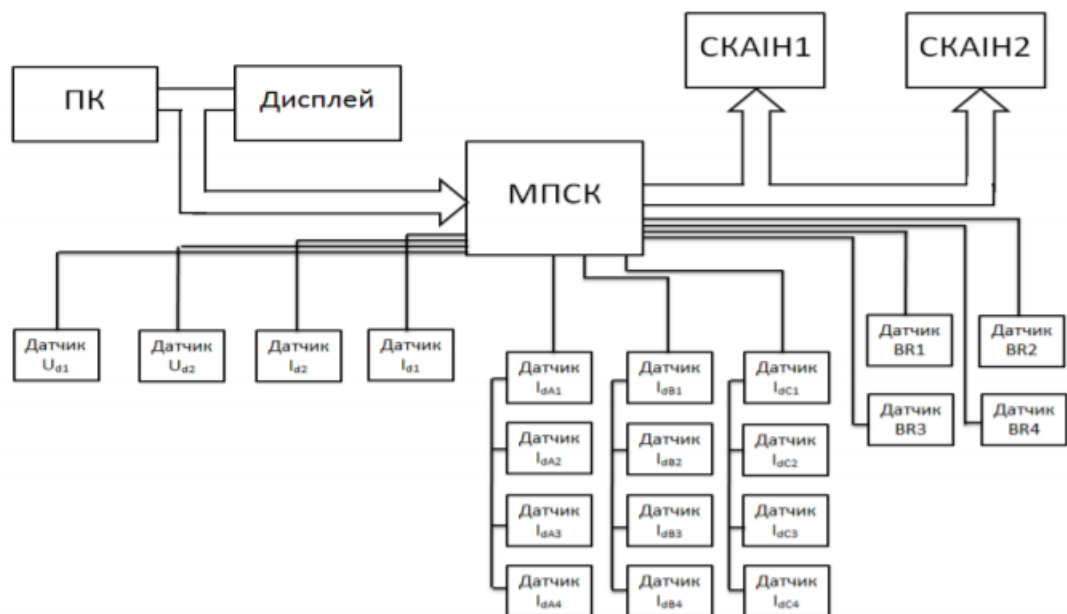


Рис. 1.6. Структурна схема системи керування асинхронного електроприводу трамвайного вагону

Частотні перетворювачі є сучасними, високотехнологічними пристроями, які володіють великим діапазоном регулювання, мають широкий набір функцій для керування асинхронними двигунами [34]. Структура частотного перетворювача та форма його вихідного сигналу наведені на рис.1.7 та рис.1.8 відповідно.

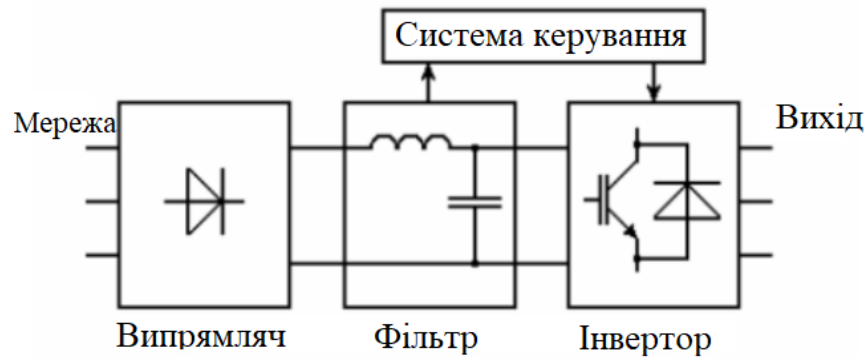


Рис.1.7. Схема частотного перетворювача асинхронного двигуна

Частотні перетворювачі за напругою живлення розділяються на однофазні та трьохфазні, а за конструктивним виконанням на електромашинні обертальні та статичні. В електромашинних перетворювачах змінна частота отримується за рахунок використання звичайних або спеціальних електричних машин. В статичних частотних перетворювачах зміна частоти струму живлення досягається за рахунок застосування нерухомих електричних елементів [16].

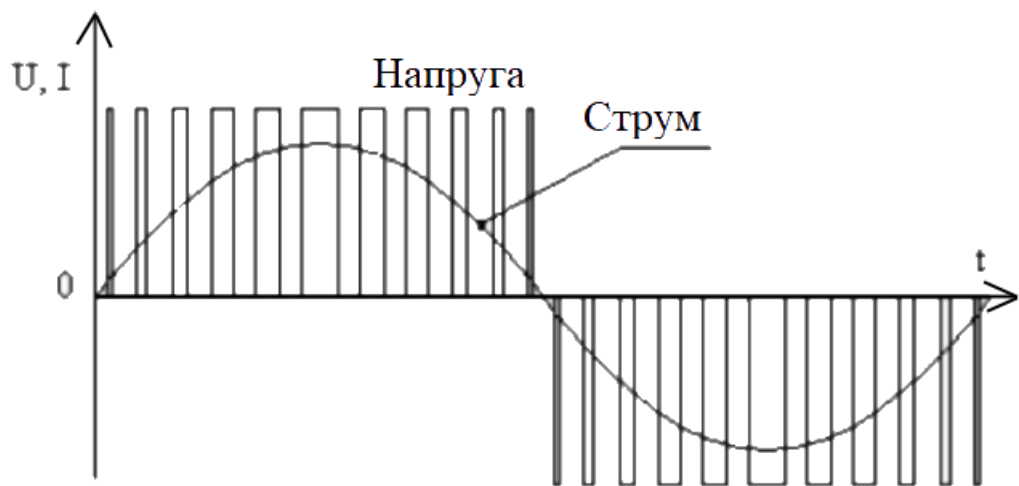


Рис. 1.8. Вихідний сигнал перетворювача частоти

Перетворювачі частоти для однофазної мережі дозволяють забезпечити електропривід виробничої апаратури потужністю до 7.5 кВт. Особливістю конструкції сучасних однофазних перетворювачів є те, що на вході є одна фаза з напругою 220 В, а на виході – три фази з тим же значенням напруги, що

дозволяє під'єднати до пристрою трьохфазні електродвигуни без застосування конденсаторів.

Перетворювачі частоти з живленням від трьохфазної мережі 380 В випускаються в діапазоні потужностей від 0.75 до 630 кВт. В залежності від величини потужності пристрої виробляються в полімерних комбінованих і металевих корпусах.

Найпопулярнішою стратегією керування асинхронними електродвигунами є векторне керування. Наразі більшість частотних перетворювачів реалізують векторне керування або навіть векторне бездатчикве керування (цей тренд зустрічається в частотних перетворювачах, які реалізують скалярне керування і не мають клем для підключення датчика швидкості).

Виходячи з виду навантаження на виході, перетворювачі частоти розділяють за типом виконання:

- для насосного та вентиляторного приводу;
- для загальнопромислового електроприводу;
- експлуатується в складі електродвигунів, які працюють з перенавантаженням.

На рис. 1.9 наведені типові механічні характеристики для різних типів навантажень.



Рис. 1.9. Механічні характеристики типових навантажень

Сучасні перетворювачі частоти володіють різноманітним набором функціональних особливостей, наприклад, мають ручне та автоматичне керування швидкістю та напрямком обертання двигуна, а також вбудований потенціометр на панелі керування. Наділені можливістю регулювання діапазону вивхідних частот від 0 до 800 Гц.

Перетворювачі здатні виконувати автоматичне керування асинхронним двигуном за сигналами з периферійних датчиків та приводити в дію електропривід по заданому часовому алгоритму. Підтримувати функції автоматичного відновлення режиму роботи при короткочасному перериванні живлення. Виконувати керування перехідними процесами з віддаленого пульту та здійснювати захист електродвигунів від перевантажень [35-37].

Зв'язок між кутовою швидкістю обертання та частотою струму живлення впливає з рівняння

$$\omega_0 = \frac{2\pi f_1}{p}.$$

При незмінній напрузі джерела живлення U_1 та зміні частоти змінюється магнітний потік асинхронного двигуна. При цьому для кращого використання магнітної системи при зниженні частоти живлення необхідно пропорційно зменшувати напругу, інакше значно збільшаться струм намагнічення та втрати в сталі.

Аналогіно при збільшенні частоти живлення треба пропорційно збільшувати напругу, щоб зберегти магнітний потік постійним, оскільки інакше (при постійному моменті на валу) це призведе до наростання струму ротору, перевантаженню його обмоток за струмом, зниженню максимального моменту.

Рациональний закон регулювання напруги залежить від характеру моменту опору.

При постійному моменті статичного навантаження ($M_c = \text{const}$) напруга має регулюватися пропорційно його частоті $U_1/f_1 = \text{const}$. Для вентиляторного характеру навантаження співвідношення приймає вигляд $U_1/f_1^2 = \text{const}$.

При моменті навантаження, зворотно пропорційному швидкості $U_1 / \sqrt{f_1} = \text{const}$. На рис. 1.10 – 1.13 представлені спрощена схема підключення та механічні характеристики асинхронного двигуна при частотному регулюванні кутової швидкості.

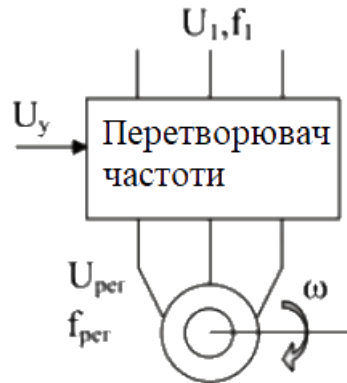


Рис. 1.10. Схема підключення частотного перетворювача до асинхронного електродвигуна

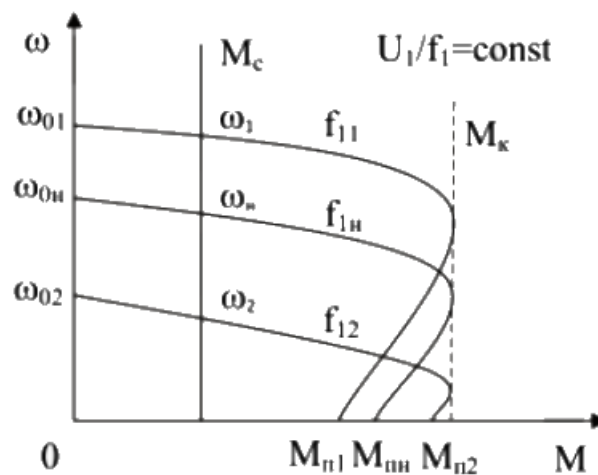


Рис.1.11. Характеристики для навантаження з постійним статичним моментом опору

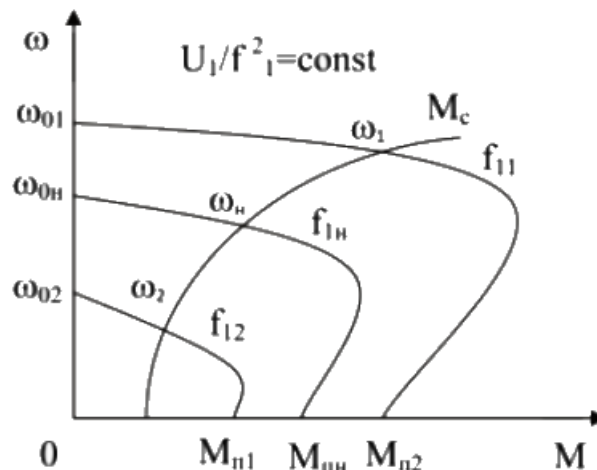


Рис.1.12. Характеристики для навантаження вентиляторного характеру

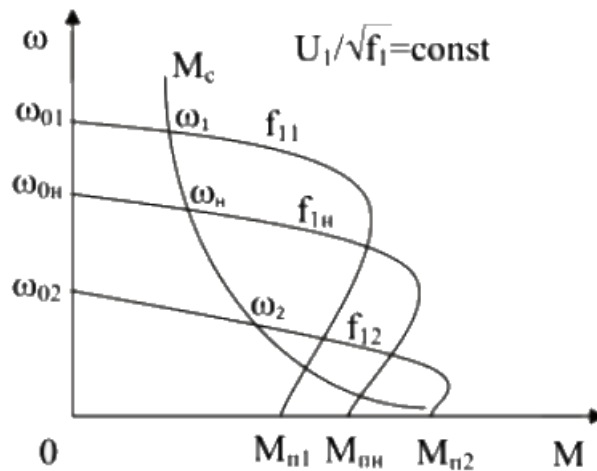


Рис.1.13. Характеристики при статичному моменті навантаження зворотно пропорційному кутовій швидкості обертання

При зміні частоти мережі живлення верхня межа частоти обертання асинхронного двигуна залежить від її механічних властивостей, тим паче що на частотах вищих за номінальну асинхронний двигун працює з кращими енергетичними показниками, ніж на понижених частотах. Тому, якщо в системі привоуд використовується редуктор, то керування двигуном при частоті треба здійснювати не тільки вниз, але і вверх до номінальної точки, впритул до максимальної частоти обертання, допустимої на умовах механічної міцності ротора [3].

При збільшенні оборотів обертання двигуна вище вказаного значення в її паспорті частота джерела живлення не має перевищувати номінальну більш ніж в 1.5 – 2 рази.

Частотний спосіб є найбільш перспективним для регулювання асинхронного двигуна з короткозамкнутим ротором. Втрати потужності при такому регулюванні невеликі, оскільки не супроводжуються збільшенням ковзання. Отримані при цьому механічні характеристики мають високу жорсткість.

Механізм подачі електроенергії до електротранспорту

Електропостачання транспортного господарства буває двох типів: централізоване та децентралізоване. В першому випадку одна потужна

підстанція здійснює живлення прилежної до неї великої контактної мережі (ціла гілка), розділеної на ділянки, які розміщені на різній відстані від підстанції. В другому випадку кожна ділянка мережі живиться від двох або однієї малопотужної підстанції. На лінії біля підстанції розміщується ізолятор, який розділяє її на дві ділянки. Це більш надійний спосіб, тому що при виході з ладу підстанції завжди можна заживити аварійну ділянку від сусідньої [30].

На рис.1. 14 наведена схема електропостачання трамваю та тролейбуса.

Для того, щоб живити контактну мережу, електрична енергія проходить ряд перетворень: на електростанції (1) виробляється електроенергія та передається на підстанцію (2), яка підвищує напругу для зменшення втрат при транспортуванні по високовольтним лініям електропередач ЛЕП(3) на велику відстань. В місті, на понижуючій підстанції (4) відбувається зменшення напруги до 6 або 10 кВ. Далі кабельними лініями (5) відбувається з'єднання з тяговими підстанціями (6), в яких і відбувається перетворення змінного струму в постійний з напругою 600 В. Контактна мережа (8,9) живиться від тягових підстанцій. Номінальна напруга для струмоприймача рухомих складів вважається 550 В.

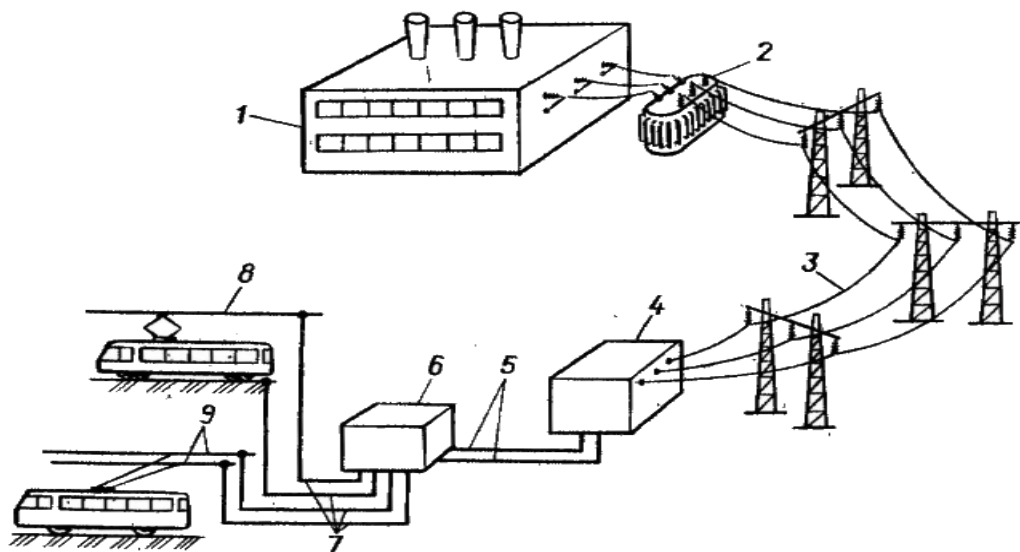


Рис. 1.14. Схема електропостачання трамваю та тролейбуса

На перших трамваях раніше використовувалася третя рейка – контактна рейка. Від неї доволі швидко відмовились через ряд проблем: під час дощу виникали короткі замикання, а нормальному контакту заважали бруд та опале листя. Зараз для трамваїв використовується повітряна контактна мережа (один дріт). Струмоприймач трамваю (пантограф, штанга) розміщений на даху вагону. З допомогою нього трамвай живиться постійним електричним струмом. Рейки ж є мінусом в нашому електричному ланцюзі.

З тролейбусною контактною мережею трохи інакше. Тут корпус ізолюваний від доторкання із землею (контакт через резинові покриття). Таким чином, контактна мережа складається з двох дротів, один з яких плюс, а інший – мінус (рис. 1.15). Але виникає небезпека короткого замикання при появі контакту між двома дротами контактної мережі. Таке може трапитись, наприклад, при сильному вітрі.

Струмоприймач тролейбуса – це звичайна штанга. Є випадки, коли в місті трамваї використовують штангові струмоприймачі, тоді трамвай та тролейбус можуть здійснювати рух по одній контактній мережі.

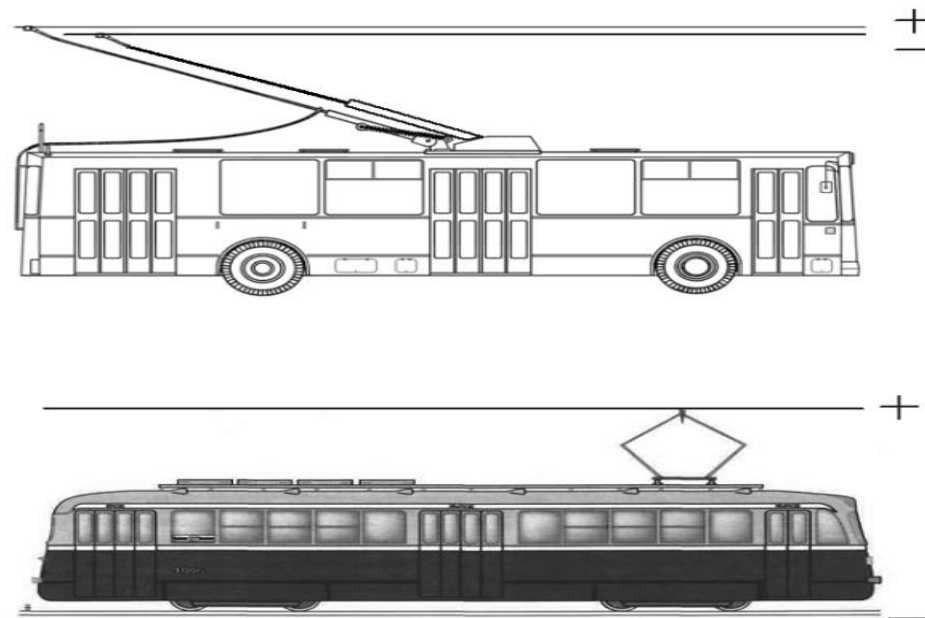


Рис.1.15. Живлення трамваю та тролейбуса

В місцях, де розміщені ізолятори на контактній мережі, в також в місцях перетинів ліній, для здійснення перехресного руху, напруга мережі відсутня. Тобто при зупинці на даній ділянці продовження руху від мережі буде неможливим.

В трамваїв є ймовірність, що зворотній тяговий струм піде в землю, так можуть утворитись блукаючі струми, які погано впливають на пролягаючі поблизу труби, кабелі.

Корпус трамваю постійно з'єднаний із землею, а от тролейбус ізолюваний від неї. Через це в тролейбусі ведеться жорсткий контроль над витіком струму на корпус. Є вірогідність ураження електричним струмом при посадці/висадці, коли ви одночасно торкаєтесь корпусу та землі [5].

Електричні ланцюги електротранспорту на прикладі тролейбуса

Електричні ланцюги тролейбуса поділяються на:

- високовольтні (близько 550 В);
- низьковольтні (24 В).

Приймачі струму передають напругу мережі високовольтним ланцюгам. Одразу після приймачів струму вмикається радіореактор – фільтр, призначений для запобігання потраплянню перешкод з мережі до ланцюгів тролейбуса (перешкоди заважають нормальному функціонуванню керуючих систем) і назад (щоб уникнути можливих перешкод під час радіотрансляції). Автоматичні вимикачі вберігають високовольтні кола від замикань та перевантажень. До мережі високої напруги належать:

- силовий ланцюг: тяговий електричний двигун, який забезпечує рух тролейбуса;
- пристрій для самостійного руху тролейбуса при опущених приймачах струму і при відсутності напруги в контактній мережі;
- компресор для здійснення роботи приводів пневматичного типу;

- мотори-вентилятори, які охолоджують електричні прилади, що розсіюють великі потужності (потужність тягового електричного двигуна і т.п.);

- пристрої, призначені для забезпечення опалення та кондиціонування;
- перетворювачі напруги для бортової апаратури.

Низьковольтні ланцюги мають гальванічну розв'язку з високовольтними ланцюгами і використовуються для забезпечення оптимального живлення пристроїв, для функціонування яких непотрібна велика потужність, серед яких:

- механізми для закривання/відкривання дверей, очисники скла і т.п.;
- внутрішнє та зовнішнє освітлення;
- звукова і сигнальна сигналізація;
- керувальна і контрольна вимірювальна апаратура (бортовий комп'ютер, ланцюги керування двигуном);
- навігації та зв'язку.

Для забезпечення живлення бортової апаратури за відсутності мережевої напруги слугує АКБ. Одним з чинників правильної роботи будь-якої АКБ є її правильне заряджання, яке залежить від вибору зарядного пристрою (ЗП) і його належного використання. Вибір ЗП впливає на продуктивність і термін служби АКБ. Найбільш поширені типи зарядних пристроїв:

- прискорені ЗП (1-3-годинні);
- повільні ЗП (14-16-годинні, іноді 24-годинні);
- кондиціонуючі ЗП.

Далеко не кожен тип АКБ можна заряджати в прискореному зарядному пристрої: наприклад, свинцево-кислотний акумулятор не зможе зарядитися так швидко, як нікель-кадмієвий. Якщо NiCd акумулятор заряджати струмом в 1С (100%- вим струмом вид номінальної ємності тривалістю в годину), то типова ефективність заряду по ємності становитиме 0.91 (для ідеального акумулятора буде 1). Для повного заряду слід заряджати протягом 66 хвилин.

На повільному заряді в 0.1С (10%-вим струмом від номінальної ємності протягом 10 годин) ефективність заряду по ємності складе 0.71.

Причиною низької ефективності заряду є те, що частина енергії заряду, що поглинається АКБ, витрачається в зв'язку з розсіюванням в тепло. Тому в повільному ЗП (струм дорівнює 0.1С, тобто 10% від номінальної ємності) акумулятор рекомендується заряджати протягом 14-16 годин, а не протягом 10 годин.

Правильність процедури заряджання залежить безпосередньо від користувача, який його здійснює, а також від принципу роботи пристрою, який використовується для заряджання.

1.4. Тролейбус з високовольтним акумулятором

І автобус, і звичайний троллейбус, який працює виключно від мережі, мають значні недоліки, тому важко сказати який з них є кращим видом громадського транспорту в місті.

Проте певним рішенням цього є використання троллейбуса з високовольтним акумулятором, адже він значно більш економічний та екологічний за автобус, і в той же час має переваги над звичайним троллейбусом, а саме:

- Використовується наявна інфраструктура, при цьому троллейбус має можливість об'їжджати перепони та функціонувати навіть при обриві чи обледенінні контактних дротів, тобто при зупинці подачі до нього напруги мережі.
- Значна економія коштів у містах, адже не потрібно протягувати нові мережі та будувати підстанції в місцях, де вони відсутні, тому що троллейбус з великим запасом автономного ходу зможе подолати ці ділянки (рис.1.16).



Рис.1.16. Порівняння вартості експлуатації тролейбуса з автономним ходом і звичайного тролейбуса

1.5. Літій-іонна технологія виготовлення акумуляторів

У Li-ion акумуляторів значно кращі параметри. Однак слід враховувати, що Ni-Cd акумулятори мають одну важливу перевагу: здатність забезпечувати великі струми розряду. Ця властивість не є критично важливою при живленні ноутбуків або стільникових телефонів (де частка Li-ion доходить до 80% і їх частка все більше зростає), але існує досить багато пристроїв, які споживають великі струми, наприклад всілякі електроінструменти, електробритви і т. п. До сих пір ці пристрої були вочиною майже виключно Ni-Cd акумуляторів. Однак в даний час, особливо в зв'язку з обмеженням застосування кадмію відповідно до директиви RoHS, різко активізувалися дослідження по створенню бескадмієвих акумуляторів з великим розрядним струмом [6].

Первинні елементи ("батарейки") з літєвим анодом з'явилися на початку 70-х років 20 століття і швидко знайшли застосування завдяки великій питомій енергії та іншим перевагам. Таким чином, було здійснено давнє прагнення створити хімічне джерело струму з найбільш активним відновником - лужним металом, що дозволило різко підвищити як робочу напругу акумулятора, так і його питому енергію. Якщо розробка первинних елементів з літєвим анодом увінчалася порівняно швидким успіхом і такі елементи міцно зайняли своє місце як джерела живлення портативної

апаратури, то створення літієвих акумуляторів наштовхнулося на принципові труднощі, подолання яких потребувало більше 20 років [42].

Після безлічі випробувань протягом 1980-х років з'ясувалося, що проблема літієвих акумуляторів закручена навколо літієвих електродів. Точніше, навколо активності літію: процеси, що відбувалися при експлуатації, в кінці кінців, приводили до бурхливої реакції, що отримала назву "вентиляція з викидом полум'я". У 1991 р на заводи-виробники було відкликано велику кількість літієвих акумуляторних батарей, які вперше використали в якості джерела живлення мобільних телефонів. Причина - при розмові, коли струм максимальний, з акумуляторної батареї відбувався викид полум'я, що обпалює обличчя користувачеві мобільного телефону.

Через властиву літію нестабільність, особливо в процесі заряду, дослідження зрушили в область створення акумулятора без застосування Li, але з використанням його іонів. Хоча літій-іонні акумулятори забезпечують незначно меншу енергетичну щільність, ніж літієві акумулятори, проте Li-ion акумулятори безпечні при забезпеченні правильних режимів заряду і розряду.

Хімічні процеси Li-ion акумуляторів

Революцію в розвитку перезаряджання літієвих акумуляторів справило повідомлення про те, що в Японії розроблені акумулятори з негативним електродом з вуглецевих матеріалів. Вуглець виявився дуже зручною матрицею для інтеркаляції літію.

Для того щоб напруга акумулятора було досить великою, японські дослідники використовували в якості активного матеріалу позитивного електрода оксиди кобальту. Літерований оксид кобальту має потенціал близько 4 В щодо літієвого електрода, тому робоча напруга Li-ion акумулятора має характерне значення 3 В і вище.

При розряді Li-ion акумулятора відбуваються деінтеркаляції літію з вуглецевого матеріалу (на негативному електроді) та інтеркаляція літію в оксид (на позитивних пластинах). При заряді акумулятора процеси йдуть у зворотному напрямку [8]. Отже, у всій системі відсутній металевий (нуль-валентний) літій, а процеси розряду і заряду зводяться до переносу іонів літію з одного електрода на інший. Тому такі акумулятори отримали назву "літій-іонних", або акумуляторів типу крісла-качалки.

Процеси на негативному електроді Li-ion акумулятора

У всіх Li-ion акумулятори, доведених до комерціалізації, анод виготовляється з вуглецевих матеріалів. Інтеркаляція літію в вуглецеві матеріали являє собою складний процес, механізм і кінетика якого істотно залежать від природи вуглецевого матеріалу і природи електроліту.

Вуглецева матриця, що застосовується в якості анода, може мати впорядковану шарувату структуру, як у природного або синтетичного графіту, неупорядковану аморфну або частково впорядковану (кокс, піролізний або мезофазних вуглець, сажа та ін.). Іони літію при впровадженні розсовують шари вуглецевої матриці і розташовуються між ними, утворюючи інтеркалати різноманітних структур. Питомий обсяг вуглецевих матеріалів в процесі інтеркаляції-деінтеркаляції іонів літію змінюється незначно.

Крім вуглецевих матеріалів в якості матриці негативного електрода вивчаються структури на основі олова, срібла і їх сплавів, сульфідів олова, фосфідів кобальту, композити вуглецю з наночастинками кремнію [44].

Процеси на позитивних пластинах Li-ion акумулятора

Якщо в первинних літієвих елементах застосовуються різноманітні активні матеріали для позитивного електрода, то в літієвих акумуляторах вибір матеріалу позитивного електрода обмежений. Позитивні електроди літій-іонних акумуляторів створюються виключно з літієвих оксидів кобальту або нікелю і з літій-марганцевих шпинелей.

В даний час в якості катодних матеріалів все частіше застосовуються матеріали на основі змішаних оксидів або фосфатів. Показано, що з катодами із змішаних оксидів досягаються найкращі характеристики акумулятора. Освоюються і технології покриття поверхні катодів тонкодисперсними оксидами.

При заряді Li-іон акумулятора відбуваються реакції:

на позитивних пластинах: $LiCoO_2 \rightarrow Li_{1-x}CoO_2 + xLi^+ + xe^-$;

на негативних пластинах: $C + xLi^+ + xe^- \rightarrow CLi_x$.

При розряді відбуваються зворотні реакції. Процес заряджання демонструється на рис.1.17.

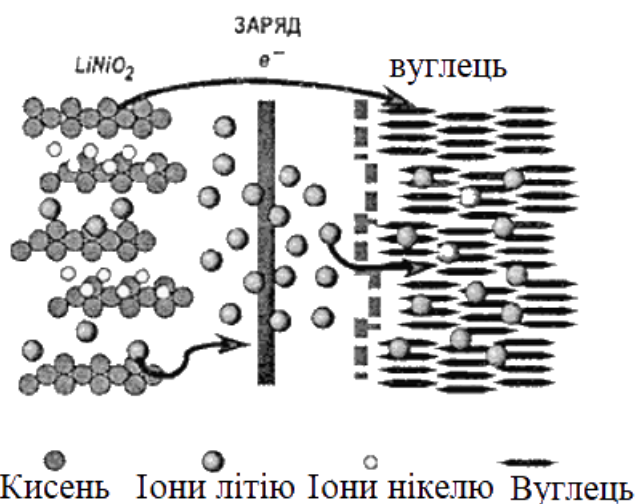


Рис. 1.17. Процес заряджання літій-іонного акумулятора

Конструкція Li-іон акумуляторів

Конструктивно Li-іон акумулятори, як і лужні (Ni-Cd, Ni-MH), виробляються в циліндричному і призматичному варіантах. В циліндричних акумуляторах згорнутий у вигляді рулону пакет електродів і сепаратора розміщений в сталевому або алюмінієвому корпусі, з яким з'єднаний негативний електрод. Позитивний полюс акумулятора виведений через ізолятор на кришку (рис. 1.18). Призматичні акумулятори виробляються складанням прямокутних пластин один на одного. Призматичні акумулятори

забезпечують більш щільну упаковку в акумуляторній батареї, але в них важче, ніж в циліндричних, підтримувати стискаючі зусилля на електроди. У деяких призматичних акумуляторах застосовується рулонна збірка пакету електродів, який скручується в еліптичну спіраль (рис. 1.19). Це дозволяє об'єднати переваги двох описаних вище модифікацій конструкції [14].

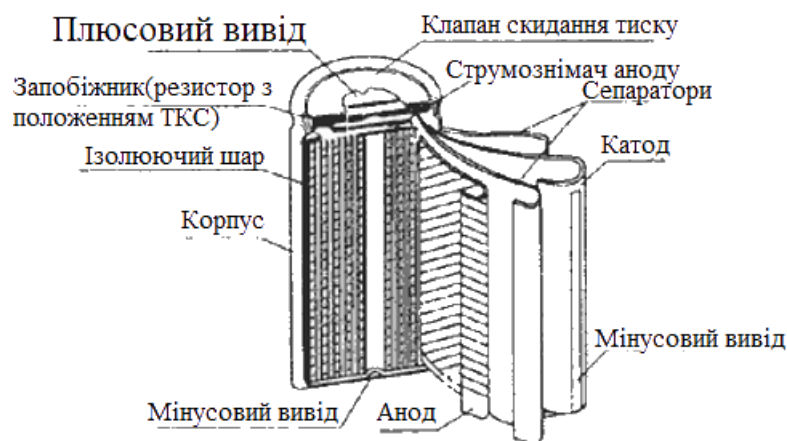


Рис. 1.18. Конструкція літій-іонного акумулятора



Рис. 1.19. Конструкція призматичного літій-іонного акумулятора з рулонною скруткою електродів

Деякі конструктивні заходи зазвичай робляться і для попередження швидкого розігріву і забезпечення безпеки роботи Li-ion акумуляторів. Під кришкою акумулятора є пристрій, що реагує на позитивний температурний коефіцієнт збільшення опору, і інше, яке розриває електричну зв'язку між катодом і позитивною клемою при підвищенні тиску газів всередині акумулятора вище допустимого рівня [28].

Для підвищення безпеки експлуатації Li-ion акумуляторів в складі батареї обов'язково застосовується також і зовнішній електронний захист,

мета якоого не допустити можливість перезаряду і перерозряду кожного акумулятора, короткого замикання і надмірного розігріву.

Більшість Li-ion акумуляторів виготовляють в призматичних варіантах, оскільки основне призначення Li-ion акумуляторів - забезпечення роботи стільникових телефонів і ноутбуків. Як правило, конструкції призматичних акумуляторів не уніфіковані і більшість фірм-виробників стільникових телефонів, ноутбуків і т.д. не допускають застосування в пристроях акумуляторів сторонніх фірм.

Різноманітні електроди в літієвих та літій-іонних акумуляторах поділяються сепаратором з пористого поліпропілену.

Конструкція Li-ion і інших літієвих акумуляторів, як і конструкція всіх первинних джерел струму ("батареєнок") з літієвим анодом, відрізняється абсолютною герметичністю. Вимога абсолютної герметичності визначається як неприпустимістю витікання рідкого електроліту (негативно діє на апаратуру), так і неприпустимістю потрапляння в акумулятор кисню і парів води з навколишнього середовища. Кисень і пари води реагують з матеріалами електродів і електроліту і повністю виводять акумулятор з ладу [31].

Технологічні операції виробництва електродів і інших деталей, а також збірку акумуляторів проводять в особливих сухих кімнатах або в герметичних боксах в атмосфері чистого аргону. При складанні акумуляторів застосовують складні сучасні технології зварювання, складні конструкції гермовиводів і т.д. Закладка активних мас електродів є компромісом між бажанням досягти максимуму розрядної ємності акумулятора і вимогою гарантувати безпеку його роботи, яка забезпечується при співвідношенні $C^- / C^+ \Rightarrow 1,1$ для попередження утворення металевого літію (і тим самим можливості загоряння).

Характеристики Li-ion акумуляторів

Сучасні Li-ion акумулятори мають високі питомі характеристики: 100-180 Вт· год/ кг і 250-400 Втч / л. Робоча напруга - 3,5-3,7 В. Якщо ще кілька

років тому розробники вважали досяжною ємність Li-ion акумуляторів не вище декількох ампер-годин, то зараз більшість причин, що обмежують збільшення ємності, подолано і багато виробників стали випускати акумулятори ємністю в сотні ампер-годин.

Сучасні малогабаритні акумулятори працездатні при токах розряду до 2 С, потужні - до 10-20С. Інтервал робочих температур: від -20 до +60 ° С. Проте багато виробників вже розробили акумулятори, працездатні при -40 ° С. Можливо розширення температурного інтервалу в область більш високих температур. Саморозряд Li-ion акумуляторів становить 4-6% за перший місяць, потім - істотно менше: за 12 місяців акумулятори втрачають 10-20% запасеної ємності. Втрати ємності у Li-ion акумуляторів в кілька разів менше, ніж у нікель-кадмієвих акумуляторів, як при 20 ° С, так і при 40 ° С. Ресурс-500-1000 циклів [2].

Зарядження Li-ion акумуляторів

Li-ion акумулятори заряджаються в комбінованому режимі: спочатку при постійному струмі (в діапазоні від 0,2 С до 1 С) до напруги 4,1-4,2 В (в залежності від рекомендацій виробника), далі при постійній напрузі. Перша стадія заряду може тривати близько 40 хв, друга стадія довше. Більш швидкий заряд може бути досягнутий при імпульсному режимі.

У початковий період, коли тільки з'явилися Li-ion акумуляторні батареї, що використовують графітову систему, потрібно обмеження напруги заряду з розрахунку 4,1 В на елемент. Хоча використання більш високої напруги дозволяє підвищити енергетичну щільність, окислювальні реакції, які відбуваються в елементах такого типу при напругах, що перевищують поріг 4,1 В, призводили до скорочення їх терміну служби. Згодом цей недолік ліквідували за рахунок застосування хімічних добавок, і в даний час Li-ion елементи можна заряджати до напруги 4,20 В. Допустиме відхилення напруги становить лише близько $\pm 0,05$ В на елемент.

Li-ion акумуляторні батареї промислового і військового призначення повинні мати більший термін служби, ніж батареї для комерційного використання. Тому для них гранична напруга кінця заряджання становить 3,90 В на елемент. Хоча енергетична щільність (кВт·год / кг) у таких батареї нижче, підвищений термін служби при невеликих розмірах, малій вазі і більш висока в порівнянні з батареями інших типів енергетична щільність ставлять Li-ion батареї поза конкуренцією.

При заряді Li-ion акумуляторних батареї струмом 1С час заряду становить 2-3 год. Li-ion батарея досягає стану повного заряду, коли напруга на ній стає рівною напрузі відсікання, а струм при цьому значно зменшується і складає приблизно 3% від початкового струму заряду (рис. 1.20).

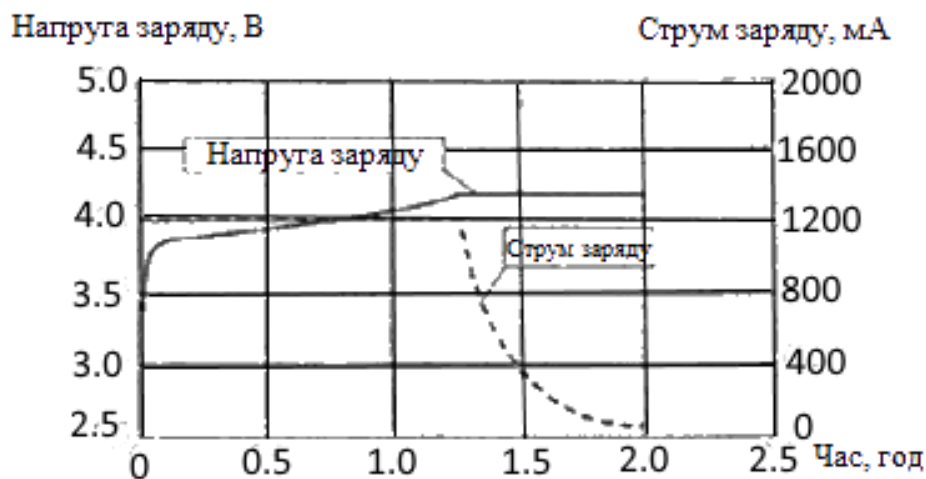


Рис.1.20. Залежність напруги та струму від часу при заряджанні літій-іонного акумулятора

Якщо на рис. 1.20 зображено типовий графік заряду одного з типів Li-ion акумуляторів, то на рис. 1.21 процес заряду показаний більш наочно. При підвищенні струму заряджання Li-ion батареї час заряджання сильно не скоротиться. Хоча при більш високому струмі заряджання напруга на батареї наростає швидше, етап підзарядки після завершення першого етапу циклу заряду триває довше [50].



Рис. 1.21. Залежність напруги і струму від часу при заряді літій-іонного акумулятора

У деяких типів зарядних пристроїв для заряджання літій-іонної акумуляторної батареї потрібен час 1 год і менше. У таких зарядних пристроях етап 2 виключено, і батарея переходить в стан готовності відразу після закінчення етапу 1. У цій точці Li-ion батарея буде заряджена приблизно на 70%, і після цього можливе додаткове підзаряджання.

Етап струменевого підзаряджання для Li-ion акумуляторів непридатний через те, що вони не можуть поглинати енергію при перезаряді. Більше того, струменеве підзаряджання може викликати металізацію літію, що робить роботу акумулятора нестабільною [9]. Навпаки, коротке підзаряджання постійним струмом здатне компенсувати невеликий саморозряд Li-ion батареї і компенсувати втрати енергії, викликані роботою її пристрою захисту. Залежно від типу зарядного пристрою і ступеню саморозряду Li-ion батареї таке підзаряджання може виконуватися через кожні 500 год, або 20 днів. Зазвичай його слід здійснювати при зниженні напруги холостого ходу до 4,05 В / елемент і припиняти, коли воно досягне 4,20 В / елемент.

ЕТАП 1 - Через акумулятор протікає максимально допустимий струм заряду, поки напруга на ньому не досягне порогового значення.

ЕТАП 2 - Максимальна напруга на акумуляторі досягнуто, струм заряду поступово знижується до тих пір поки він повністю не зарядиться. Момент завершення заряду настає коли величина струму заряду знизиться до значення 3% від початкового.

ЕТАП 3 - Періодичний компенсуючий заряд, який проводиться при зберігання акумулятора, орієнтовно через кожні 500 годин зберігання.

Отже, Li-ion акумулятори мають низьку стійкість до перезаряджання. На негативному електроді на поверхні вуглецевої матриці при значному перезаряджанні стає можливим осадження металевого літію (у вигляді дрібно роздробленого моховитого осаду), що володіє великою реакційною здатністю до електроліту, а на катоді починається активне виділення кисню. Виникає загроза теплового розгону, підвищення тиску і розгерметизації. Тому заряджання Li-ion акумуляторів можна вести тільки до напруги, рекомендованої виробником. При збільшеній напрузі заряджання ресурс акумуляторів знижується.

Безпечній роботі Li-ion акумуляторних батарей повинна приділятися серйозна увага [36]. В Li-ion батареях комерційного призначення є спеціальні пристрої захисту, що запобігають перевищенню напруги заряджання вище певного порогового значення. Додатковий елемент захисту забезпечує завершення заряджання, якщо температура батареї досягне 90 ° С. Найбільш досконалі за конструкцією батареї мають ще один елемент захисту - механічний вимикач, який спрацьовує при збільшенні внутрішньокорпусного тиску батареї. Вбудована система контролю напруги налаштована на дві напруги відсікання - верхню і нижню.

Є й винятки - Li-ion акумуляторні батареї, в яких пристрої захисту взагалі відсутні. Це акумуляторні батареї, до складу яких входить марганець. Завдяки його наявності, при перезаряджанні реакції металізації анода і виділення кисню на катоді відбуваються настільки повільно, що стало можливим відмовитися від застосування пристроїв захисту [15].

Збереження Li-ion акумуляторів. Все літієві акумулятори характеризуються досить гарною схоронністю. Втрата ємності за рахунок саморозряду 5-10% в рік.

Наведені показники слід розглядати як деякі номінальні орієнтири. Для кожного конкретного акумулятора, наприклад, напруга розрядження залежить від струму розрядження, рівня розрядженості, температури; ресурс залежить від режимів (струмів) розрядження і заряджання, температури, глибини розрядження; діапазон робочих температур залежить від рівня вироблення ресурсу, допустимих робочих напруг і т.д.

До недоліків Li-ion акумуляторів слід віднести чутливість до перезаряджання і перерозряджання, через це вони повинні мати обмежувачі заряджання і розряджання [8].

Типовий вид розрядних характеристик Li-ion акумуляторів зображений на рис. 1.22 і 1.23. З рисунків видно, що з ростом струму розряджання розрядна ємність акумулятора знижується несуттєво, але зменшується робоча напруга. Такий же ефект з'являється при розряджанні при температурі нижче 10 ° С. Крім цього, при низьких температурах має місце початкова просадка напруги.

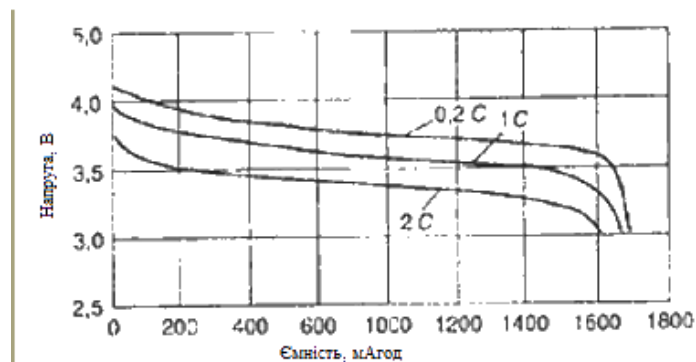


Рис. 1.22. Розрядні характеристики літій-іонного акумулятора при різних струмах

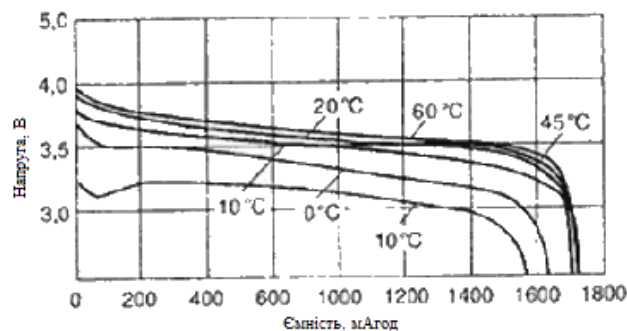


Рис. 1.23. Розрядні характеристики літій-іонного акумулятора при різних температурах

Що стосується експлуатації Li-ion акумуляторів взагалі, то, з огляду на всі конструктивні і хімічні способи захисту акумуляторів від перегріву і вже стало уявлення про необхідність зовнішнього електронного захисту акумуляторів від перезарядження і перерозрядження, можна вважати проблему безпеки експлуатації Li-ion акумуляторів вирішеною. А нові катодні матеріали часто забезпечують ще більшу термічну стабільність Li-ion акумуляторів.

Безпека Li-ion акумуляторів. При розробці літієвих і літій-іонних акумуляторів, як і при розробці первинних літієвих елементів, питанню безпеки зберігання та використання приділялася особлива увага. Всі акумулятори мають захист від внутрішніх коротких замикань (а в окремих випадках - і від зовнішніх коротких замикань). Ефективним способом такого захисту є застосування двошарового сепаратора, один з шарів якого виготовляється не з поліпропілену, а з матеріалу, аналогічного поліетилену. У випадку короткого замикання (наприклад, через проростання дендритів літію до позитивного електрода) за рахунок локального розігріву цей шар сепаратора підплавляється і стає непроникним, запобігаючи, таким чином, подальшому проростанню дендритів [25].

Пристрої захисту Li-ion акумуляторних батарей

Li-ion акумуляторні батареї комерційного призначення мають найбільш досконалий захист серед усіх типів батарей. Як правило в схемі захисту Li-ion батарей використовується ключ на польовому транзисторі, який при досягненні на елементі батареї напруги 4,30 В відкривається і тим самим перериває процес зарядження. Крім того, наявний термозапобіжник при нагріванні батареї до 90 ° C від'єднує ланцюг її навантаження, забезпечуючи таким чином її термальний захист. Але і це не все. Деякі акумуляторні батареї мають вимикач, який спрацьовує при досягненні порогового рівня тиску всередині корпусу, рівного 1034 кПа (10,5 кг / м²), і розриває ланцюг

навантаження. Є й схема захисту від глибокого розрядження, яка стежить за напругою акумуляторної батареї і розриває ланцюг навантаження, якщо напруга знизиться до рівня 2,5 В на елемент.

Внутрішній опір схеми захисту акумуляторної батареї мобільного телефону у включеному стані становить 0,05-0,1 Ом. Конструктивно вона складається з двох ключів, з'єднаних послідовно. Один з них спрацьовує при досягненні верхнього, а інший - нижнього порогу напруги на батареї. Загальний опір цих ключів фактично створює подвоєння її внутрішнього опору, особливо якщо батарея складається всього лише з одного акумулятора. Батареї живлення мобільних телефонів повинні забезпечувати великі струми навантаження, що можливо при максимально низькому внутрішньому опорі батареї. Таким чином, схема захисту представляє собою перешкоду, що обмежує робочий струм Li-ion батареї.

У деяких типах Li-ion батарей, які використовують в своєму хімічному складі марганець і складаються з 1-2 елементів, схема захисту не застосовується. Замість цього в них встановлений всього лише один запобіжник. І такі батареї є безпечними через їх малі габарити і невелику ємність. Крім того, марганець досить терплячий до порушень правил експлуатації Li-ion батареї. Відсутність схеми захисту зменшує вартість Li-ion батареї, але привносить нові проблеми [2].

Зокрема, користувачі мобільних телефонів можуть використовувати для підзарядки їх батарей нештатні зарядні пристрої. При використанні недорогих зарядних пристроїв, призначених для підзарядки від мережі або від бортової мережі автомобіля, можна бути впевненим, що при наявності в батареї схеми захисту, вона відключить її при досягненні напруги кінця заряджання. Якщо ж схема захисту відсутня, відбудеться перезаряджання батареї і, як наслідок, її незворотний вихід з ладу. Цей процес зазвичай супроводжується підвищенням нагріванням і роздуттям корпусу батареї.

Механізми, що призводять до зменшення ємності Li-ion акумуляторів

При циклюванні Li-ion акумуляторів серед можливих механізмів зниження ємності найбільш часто розглядаються наступні:

- руйнування кристалічної структури катодного матеріалу (особливо LiMn_2O_4);
- розшарування графіту;
- нарощування пасивної плівки на обох електродах, що призводить до зниження активної поверхні електродів і блокування дрібних пор;
- осадження металевого літію;
- механічні зміни структури електрода в результаті об'ємних коливань активного матеріалу при циклюванні.

Дослідники розходяться в думці, який з електродів зазнає великих змін при циклюванні. Це залежить як від природи обраних електродних матеріалів, так і від їх чистоти. Тому для Li-ion акумуляторів вдається описати тільки якісно зміну їх електричних і експлуатаційних параметрів в процесі експлуатації.

Зазвичай ресурс комерційних Li-ion акумуляторів до зниження розрядної ємності на 20% становить 500-1000 циклів, але він значно залежить від величини граничної зарядної напруги (рис. 1.24). Зі зменшенням глибини циклювання ресурс підвищується. Спостережуване підвищення терміну служби пов'язують зі зменшенням механічної напруги, що викликається, змінами обсягу електродів впровадження, які залежать від ступеня їх зарядженості.

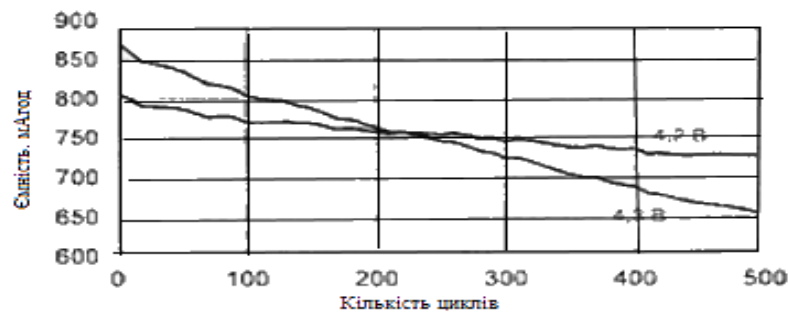


Рис. 1.24. Зміна ємності високовольтного акумулятора при зміні значення граничної напруги заряджання

В результаті пошуків найкращого матеріалу для катода сучасні Li-ion акумулятори перетворюються в ціле сімейство хімічних джерел струму, помітно відрізняються один від одного як енергоємністю, так і параметрами режимів заряджання / розряджання. Це, в свою чергу, вимагає істотного збільшення інтелектуальності схем контролю, які до теперішнього часу стали невід'ємною частиною акумуляторних батарей і питомих пристроїв - в іншому випадку можливе пошкодження (в тому числі незворотне) як батарей, так і пристроїв. Завдання ускладнюється ще й тим, що розробники намагаються максимально повно використовувати енергію акумуляторів, домагаючись підвищення часу автономної роботи при мінімально займаному джерелом живлення обсязі і вазі. Це дозволяє досягти істотних конкурентних переваг. На думку Д. Хикока, віце-президента Texas Instruments з силових компонентів мобільних систем, при використанні катодів з нових матеріалів розробники акумуляторів далеко не відразу досягають тих же конструкційних і експлуатаційних характеристик, що і у випадку з більш традиційними катодами. В результаті нові акумулятори часто мають значні обмеження діапазону умов експлуатації [18]. Мало того, останнім часом на ринок крім традиційних виробників акумуляторних осередків і батарей - Sanyo, Panasonic і Sony - дуже активно пробиваються нові виробники, здебільшого з Китаю. На відміну від традиційних виробників, вони поставляють продукцію з істотно великим розкидом параметрів в межах однієї технології або навіть однієї партії. Це пов'язано з їх бажанням конкурувати в основному за рахунок низької

ціни продукції, що часто призводить до економії на дотриманні вимог технологічного процесу.

Отже, в даний час істотно зростає важливість інформації, що надається т.зв. "Розумними акумуляторами": ідентифікація акумулятора, температура акумулятора, залишковий заряд і допустиме перенапруження. За словами Хикока, якщо розробники готових пристроїв будуть конструювати підсистему живлення, що враховує як умови експлуатації, так і параметри осередків, це дозволить нівелювати відмінності в параметрах акумуляторів і підвищити ступінь свободи для кінцевих користувачів, що надасть їм можливість вибирати не тільки рекомендовані виробником пристрої, але і акумулятори інших компаній.

Відзначимо, що виробники акумуляторів докладають великих зусиль до розробки катодів на основі літєвих сполук, які дозволили б Li-ion акумуляторам замінити Ni-Cd в пристроях з великим споживаним струмом. У цій сфері є перспективним використання катодів на основі LiMn_2O_4 .

Є різні типи літій-іонних акумуляторів, зокрема такі:

Літій-кобальтові (LiCoO_2 , або LCO). Робоча напруга: 3,6 В, енергоємність до 200 Вт·год/кг, термін служби до 1000 циклів. Графітовий анод, катод із оксиду літій-кобальту, класичний акумулятор. Це поєднання найчастіше використовується в батареях для мобільної техніки, де потрібна висока енергоємність на одиницю об'єму.

Літій-марганцеві (LiMn_2O_4 , або LMO). Робоча напруга: 3,7 В, енергоємність до 150 Вт·год/кг, термін служби до 700 циклів. Перший ефективний альтернативний склад був розроблений ще до початку продажів літій-іонних акумуляторів як таких. На катоді використовувалась літій-марганцева шпинель, яка дозволила зменшити внутрішній опір та значно підвищити струм, який віддається. Літій-марганцеві акумулятори застосовуються у вимогливому до сили струму обладнанні, наприклад, електроінструменті.

Літій-нікель-марганець-кобальтові (LiNiMnCoO_2 , або NMC). Робоча напруга: 3,7 В, енергоємність до 220 Вт·год/кг, термін служби до 2000 циклів. Поєднання нікелю, марганцю і кобальту виявилось дуже вдалим, акумулятори наростили і енергоємність, і силу струму, який віддається. В тих же «банках» 18650 ємність піднялась до 2800 мА·год, а максимальний струм, що віддається — до 20 А. NMC-акумулятори встановлюють в більшість електромобілів, інколи розбавляючи їх літій-марганцевими комірками, оскільки в таких акумуляторів більший термін служби.

Літій-залізо-фосфатні (LiFePO_4 , або LFP). Робоча напруга: 3,3 В, енергоємність до 120 Вт·год/кг, термін служби до 2000 циклів. Відкритий в 1996 році допоміг збільшити силу струму та підвищити життєвий цикл літій-іонних акумуляторів до 2000 заряджань. Літій-фосфатні батареї безпечніші попередників, краще витримують перезаряд. От тільки енергоємність не підходить для мобільної техніки — при піднятті напруги до 3,2 В енергоємність зменшується мінімум вдвічі відносно літій-кобальтового складу. Проте в LFP менше проявляється саморозряд та спостерігається особлива витривалість до низьких температур.

Літій-нікель-кобальт-алюміній-оксидні (LiNiCoAlO_2 , або NCA). Робоча напруга: 3,6 В, енергоємність до 260 Вт·год/кг, термін служби до 500 циклів. Дуже схожі на NMC-акумулятор, володіють відмінною енергоємністю, підходящою для більшості техніки номінальною напругою 3,6 В, але висока вартість та скромний термін служби (приблизно 500 циклів заряджання) не дають NCA-батареям перемогти конкурентів. Поки що їх використовують лише в деяких електромобілях.

Літій-титанатний ($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$, або SCiB/LTO). Робоча напруга: 2,4 В, енергоємність до 80 Вт·год/кг, термін служби до 7000 циклів (SCiB: до 15 000 циклів). Один із найцікавіших типів літій-іонних акумуляторів, в яких анод складається з нанокристалів титанату літію. Кристали допомогли збільшити площу поверхні аноду з 3 м²/г в графіті до 100 м²/г, тобто більш ніж в 30 разів!

Літій-титанатний акумулятор заряджається до повної ємності в п'ять разів швидше і віддає в 10 разів більш високий струм, ніж інші батареї. Однак у літій-титанатних акумуляторів є свої нюанси, які обмежують сферу застосування батарей. А саме, низька напруга (2,4 В) та енергоємність в 2-3 рази нижче, ніж в інших літій-іонних акумуляторів. Це означає, що для досягнення аналогічної ємності літій-титанатну батарею треба збільшити в об'ємі в декілька разів, в зв'язку з чим в той же смартфон її вже не вставиш.

Проте літій-титанатні батареї одразу є прописалися в транспорт, де важливе швидке підзарядження, високі струми при розгоні та стійкість до холодів. Наприклад, в електромобілях Honda Fit-EV, Mitsubishi i-MiEV та в електробусах! SCiB-акумулятори Toshiba завдяки використанню в аноді титану-ніобію відновлюють до 90% ємності всього за 5 хвилин - допустимий час для стоянки автобусу на кінцевій зупинці, де є зарядна станція [17]. Число циклів зарядження, яке витримує SCiB-батарея, перевищує 15 000.

Завданням даної роботи є розробка системи електроживлення тролейбуса з високовольтним акумулятором та оцінка економічного ефекту від її використання.

Висновки до першого розділу

Серед основних видів громадського транспорту в місті Києві, а саме тролейбусів та автобусів, важко виділити найбільш оптимальний, адже і в перших, і в других багато недоліків, які роблять вибір між ними вкрай складним.

Вирішенням даної проблеми є використання тролейбуса з комбінованою системою електроживлення, ключовим елементом якої є високовольтний акумулятор, заснований на літій-іонній технології.

Високовольтний акумулятор дасть змогу тролейбусу продовжити свій рух у випадку зникнення напруги контактної мережі та в разі потреби об'їхати ділянку з заторами та аваріями. Тобто мобільність такого виду транспорту вже значно краща ніж у звичайного тролейбуса і є досить співставною з

мобільністю автобуса. В той же час беручи до уваги вартість електроенергії та палива тролейбус з високовольтним акумулятором є значно більш дешевим, і окрім цього, екологічним видом транспорту, ніж автобус.

2. ОГЛЯД СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СТРУКТУРНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ ЗВИЧАЙНОГО ТРОЛЕЙБУСА ТА ТРОЛЕЙБУСА З ПІДВИЩЕНОЮ МОБІЛЬНІСТЮ

2.1. Схеми електричні структурні систем електроживлення звичайного тролейбуса та тролейбуса з високовольтним акумулятором

На рис.2.1 наведено структурну схему системи електроживлення звичайного тролейбуса.



Рис.2.1. Система електроживлення звичайного тролейбуса

Тролейбус має тягову установку (двигун), яка живиться від напруги мережі 400-800 В. Для живлення бортової апаратури напруга мережі понижується з допомогою перетворювача до величини 24 В. Для забезпечення функціонування бортової апаратури тролейбуса навіть у разі раптового зникнення напруги мережі (наприклад, штанги тролейбуса зійшли з дротів) встановлено акумулятор.

Для модернізації тролейбуса пропонується наступна структурна схема системи електроживлення з високовольтним акумулятором, рис.2.2.

Високовольтний акумулятор розрахований на напругу 600 В і слугує для живлення бортової апаратури та тягової установки тролейбуса у випадку зникнення напруги контактної мережі. Паралельно до акумулятора встановлена батарея суперконденсаторів, енергія якої може слугувати для підзарядки акумулятора в режимі автономного ходу тролейбуса.

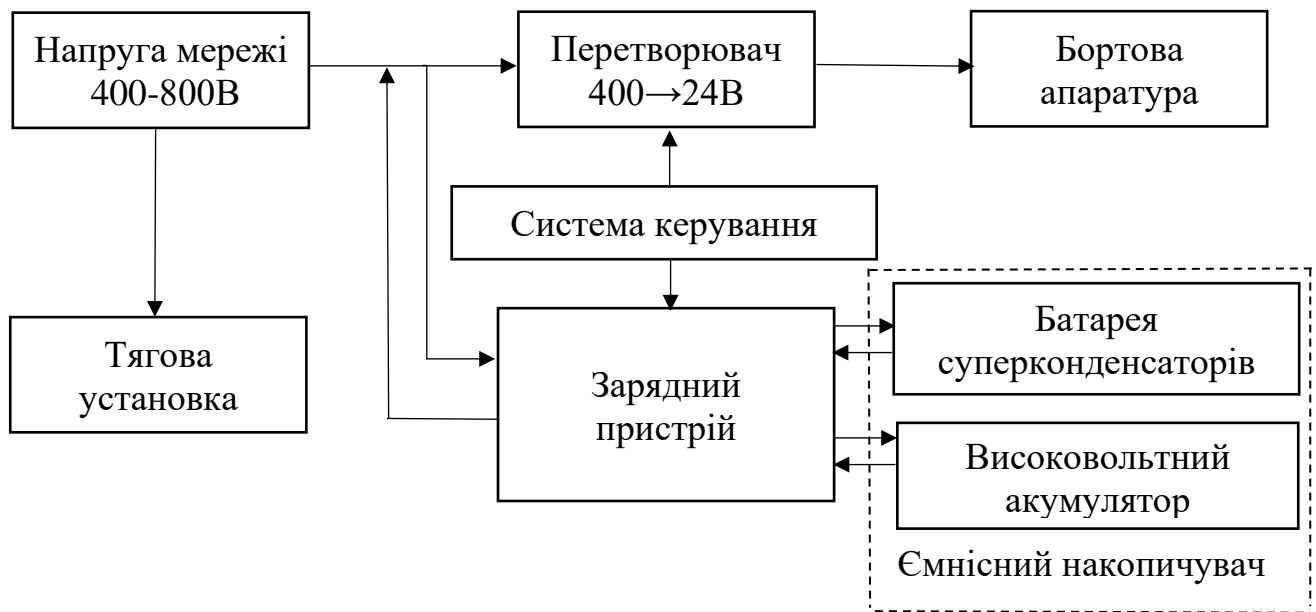


Рис. 2.2. Система електроживлення тролейбуса з високовольтним акумулятором

Система керування призначена для керування перетворювачем напруги та зарядним пристроєм акумулятора і батареї суперконденсаторів.

Перевагою цієї системи електроживлення є те, що частину маршруту тролейбус може пересуватися без напруги контактної мережі.

На рис.2.3 наведені часові діаграми роботи системи електроживлення тролейбуса.

Основні відмінності тролейбуса з високовольтним акумулятором від звичайного тролейбуса:

- потужність, яка споживається від мережі, не перевищує номінальної потужності;
- енергія рекупрується не в мережу, а в акумулятор;
- піки споживання потужності і рекуперації здійснюються через акумулятор.

Часові діаграми роботи системи електроживлення двигуна демонструються на основі чотирьох основних режимів роботи тролейбуса, рис.2.3.а):

- плавний пуск двигуна, коли оберти двигуна плавно нарастають від нульового до максимального значення;

- рух з постійною швидкістю, коли кількість обертів двигуна є сталою;
- вибіг, коли з тягової системи знімається напруга живлення і транспортний засіб рухається по інерції;
- гальмування, коли на тяговій системі створюється електричне поле, яке гальмує двигун.

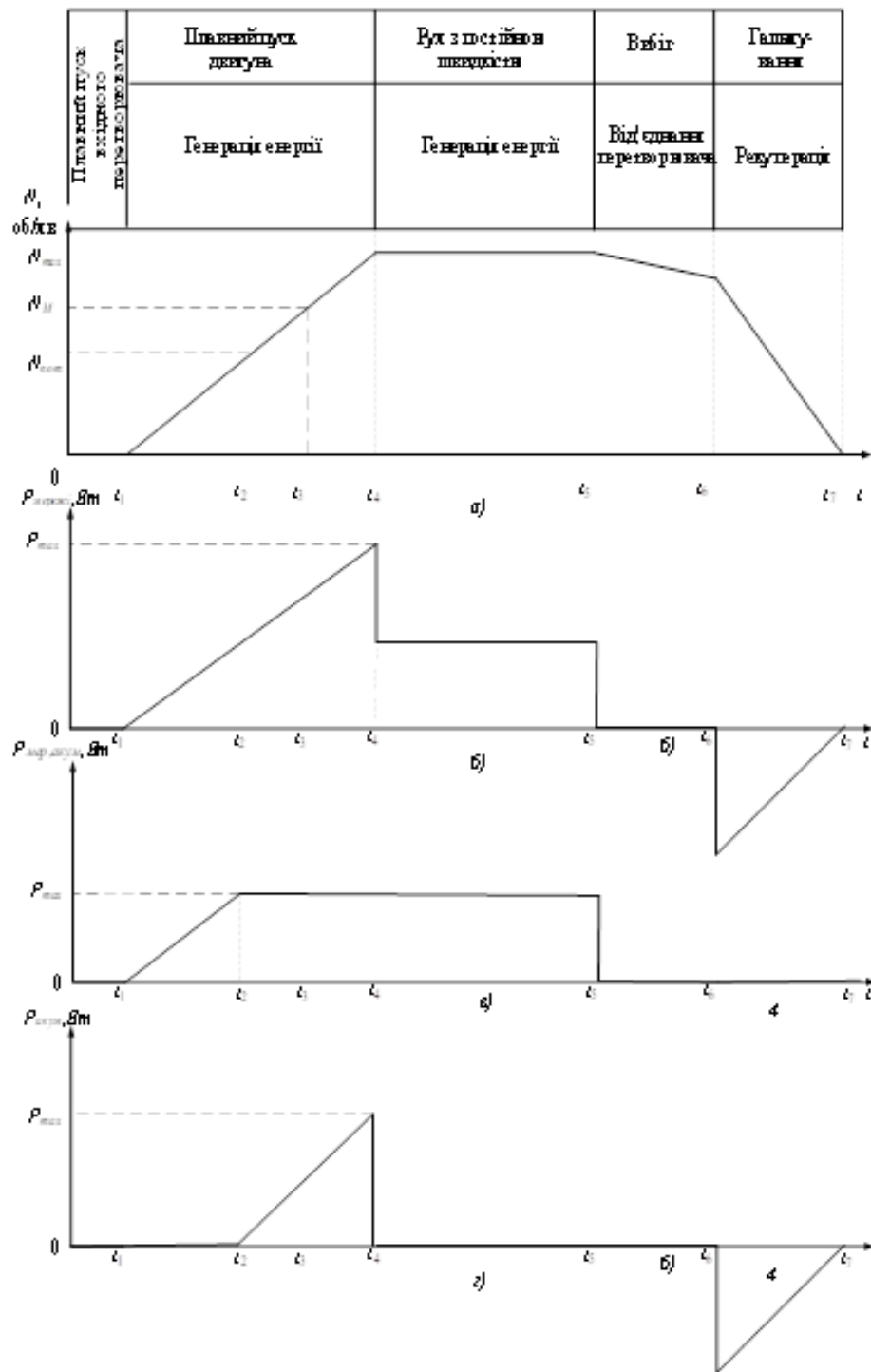


Рис.2.3: а) - показана залежність кількості обертів двигуна від часу при різних режимах його роботи; б) –потужність мережі без акумулятора при різних режимах роботи;

в) – потужність мережі з високовольтним акумулятором; г) – потужність самого акумулятора

На рис.2.3.б) наведена діаграма потужності, яка споживається двигуном від мережі без високовольтного акумулятора; на рис.2.3.в) показана потужність, яка споживається від мережі транспортним засобом з високовольтним акумулятором; на рис.2.3.г) наведена потужність, яка споживається і запасається в акумуляторі.

Перевагами такої системи електроживлення, окрім автономного ходу, є :

- зменшення втрат при рекуперації і пікових навантажень та зменшення навантаження на тягові підстанції під час пікових навантажень;
- можливість рекуперувати енергію в мережах, де це є неможливим через особливості побудови підстанцій.

Зазвичай транспортний засіб рухається не з постійною швидкістю, а динамічно змінюючи її відносно середнього значення, рис.2.4.а). Тому під час руху можна виділити ділянки де енергія споживається і де рекуперується назад в мережу, рис.2.4.б). При встановленні паралельно до тягової системи комбінованого накопичувача електроенергії рекуперації енергії під час руху доцільно проводити на цей накопичувач, що дозволяє зменшити втрати на рекуперацію і зменшити пікове навантаження на мережу, за рахунок того, що рекуперовану енергію можна використовувати для зменшення струму мережі під час прискорення, рис.2.4.в) та рис.2.4.г). В результаті цього струм мережі буде мати імпульсний характер без від'ємних ділянок струму, а його амплітуда дещо зменшиться. Подальше зменшення навантаження на мережу можливе, якщо струм від мережі буде відбиратись постійно і матиме постійне значення, рис.2.4.д), а змінну складову цього струму буде формувати ємнісний накопичувач, рис.2.4.е).

Можна оцінити зменшення втрат при використанні такого принципу відбирання енергії від мережі і ємнісного накопичувача енергії.

Будемо оцінювати втрати для випадку, коли тролейбус розігнався і рухається з приблизно сталою швидкістю. При цьому підтримання постійної швидкості відбувається за рахунок періодичного прискорення та гальмування.

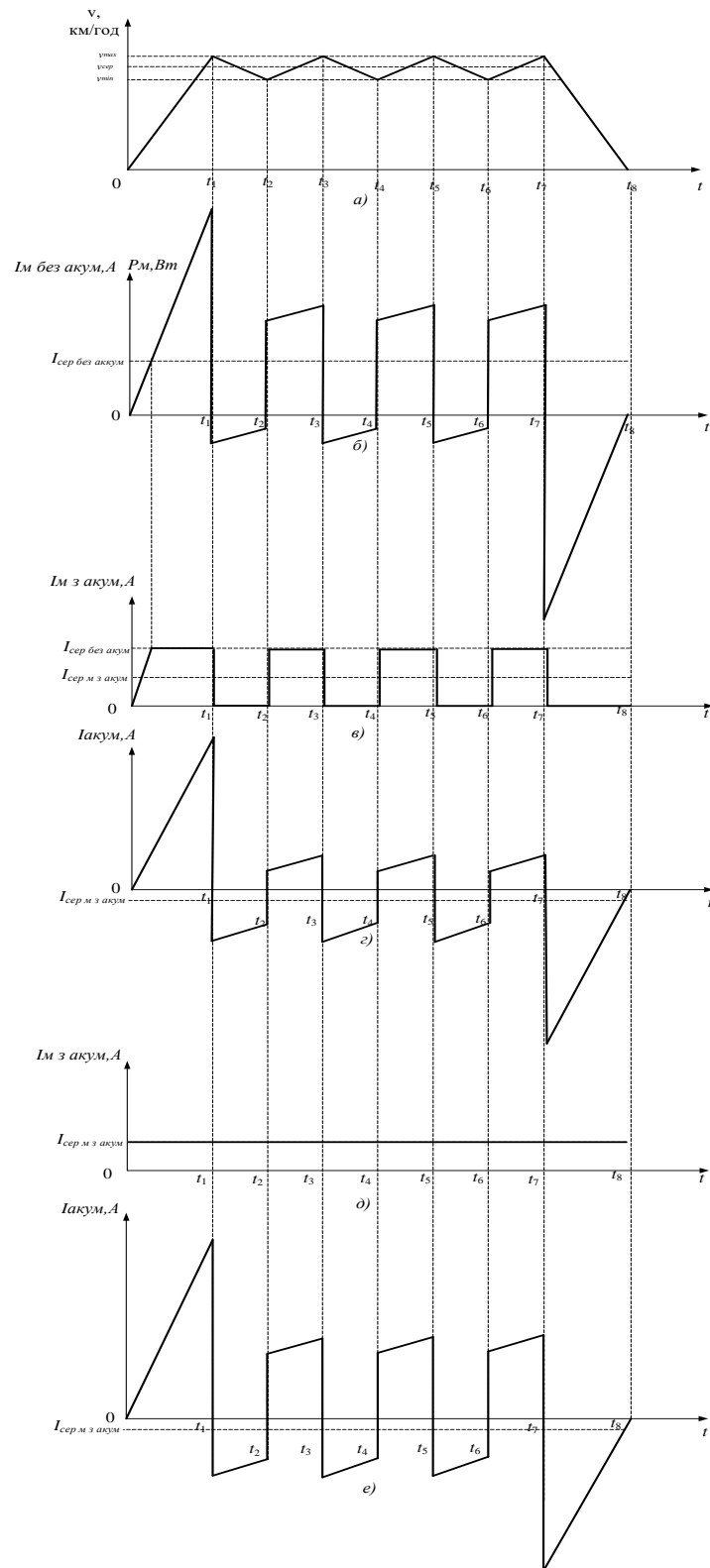


Рис.2.4. Порівняння навантаження на тягові системи без накопичувача та з накопичувачем

Тому даний процес руху тролейбуса можна описати з допомогою діаграми струму споживання, яка зображена на рис.2.5.

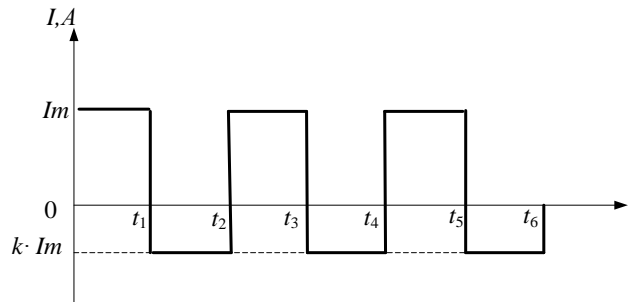


Рис.2.5

На ділянці з додатнім струмом транспортний засіб прискорюється, а з від'ємним струмом гальмує. Варто зважити на те, що ділянка гальмування може бути різною, залежно від значення k , яке змінюється в діапазоні значень від 0 до 1. Нульовому значенню відповідає рух по інерції. Зі зростанням значення k водій тролейбуса все більше гальмує і коли воно досягне одиниці, то тролейбус повністю зупиниться. Після цього він знову продовжить рух.

При даному принципі відбирання енергії змінна складова відбирається від ємнісного накопичувача, вихідний опір якого є значно меншим за опір мережі, тому втрати при обміні енергією між накопичувачем та тяговою системою можна не брати до уваги. В той же час є доцільним враховувати лише втрати при взятті енергії від мережі, яка має певний вихідний опір R_m .

При цьому зменшення втрат в даній системі визначається співвідношенням $\frac{I_o^2 R}{I_{cp}^2 R}$, де $I_o^2 R$ - це втрати при обміні енергією з мережею без накопичувача, а $I_{cp}^2 R$ - відповідно втрати при обміні енергією з мережею з накопичувачем.

Діюче значення струму:

$$\begin{aligned}
 I_{\phi} &= \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \left(\int_0^{T/2} I_m^2 dt + \int_{T/2}^T I_m^2 k^2 dt \right)} = \sqrt{\frac{1}{T} \left(I_m^2 \cdot \frac{T}{2} + I_m^2 k^2 \cdot T - I_m^2 k^2 \cdot \frac{T}{2} \right)} = \sqrt{\frac{I_m^2}{2} + I_m^2 k^2 - \frac{I_m^2 k^2}{2}} = \\
 &= I_m \sqrt{\frac{1-k^2}{2} + k^2} = I_m \sqrt{\frac{1+k^2}{2}}.
 \end{aligned} \tag{2.1}$$

Середнє значення струму:

$$\begin{aligned}
 I_{cp} &= \frac{1}{T} \int_0^T i dt = \frac{1}{T} \left(\int_0^{T/2} I_m dt - \int_{T/2}^T (-I_m k) dt \right) = \frac{1}{T} \left(I_m \cdot \frac{T}{2} - I_m k \cdot T + I_m k \cdot \frac{T}{2} \right) = \frac{I_m}{2} - I_m k + \frac{I_m k}{2} = \\
 &= I_m \left(\frac{1+k}{2} - k \right) = I_m \left(\frac{1-k}{2} \right).
 \end{aligned} \tag{2.2}$$

На рис.2.6 показано в скільки разів зменшаться втрати залежно від значення коефіцієнта k .

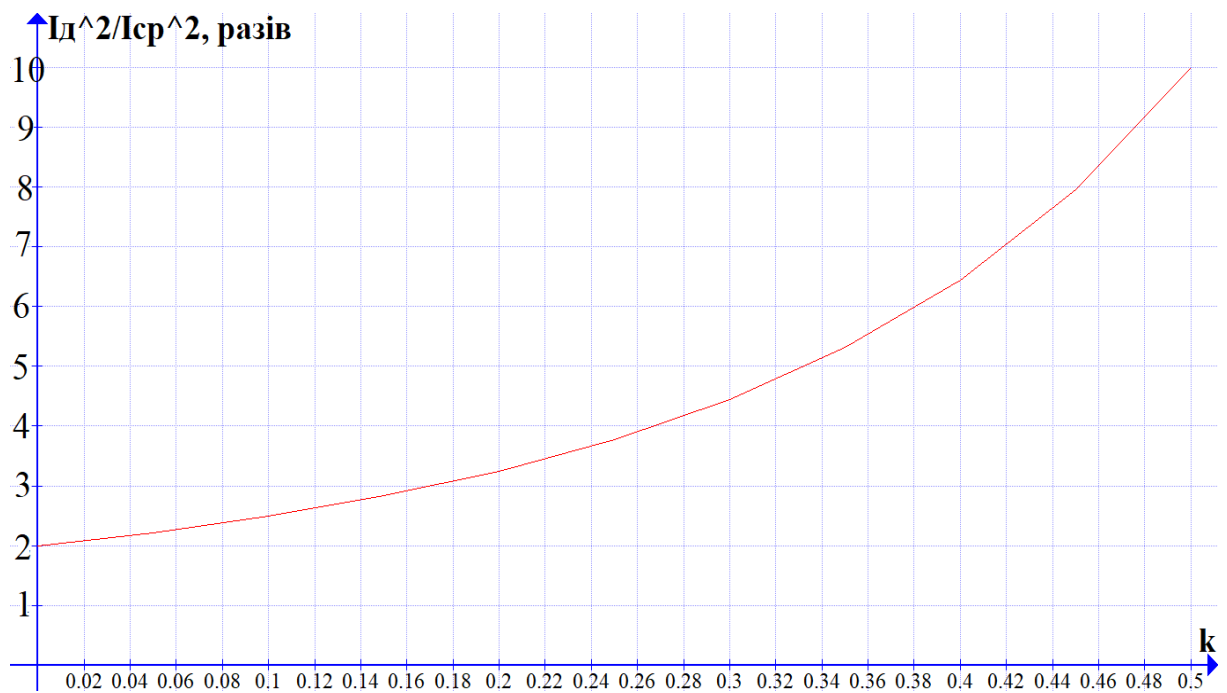


Рис.2.6. Оцінка втрат потужності

Таким чином наведений принцип відбирання енергії дозволяє зменшити втрати потужності щонайменше вдвічі.

2.2. Зарядний пристрій ємнісного накопичувача та його розрахунок

Схема зарядного пристрою ємнісного накопичувача зображена на рис. 2.7. Мостова схема на транзисторах VT7-VT10 під'єднана до мережі, а мостова схема на транзисторах VT11-VT14 до акумулятора.

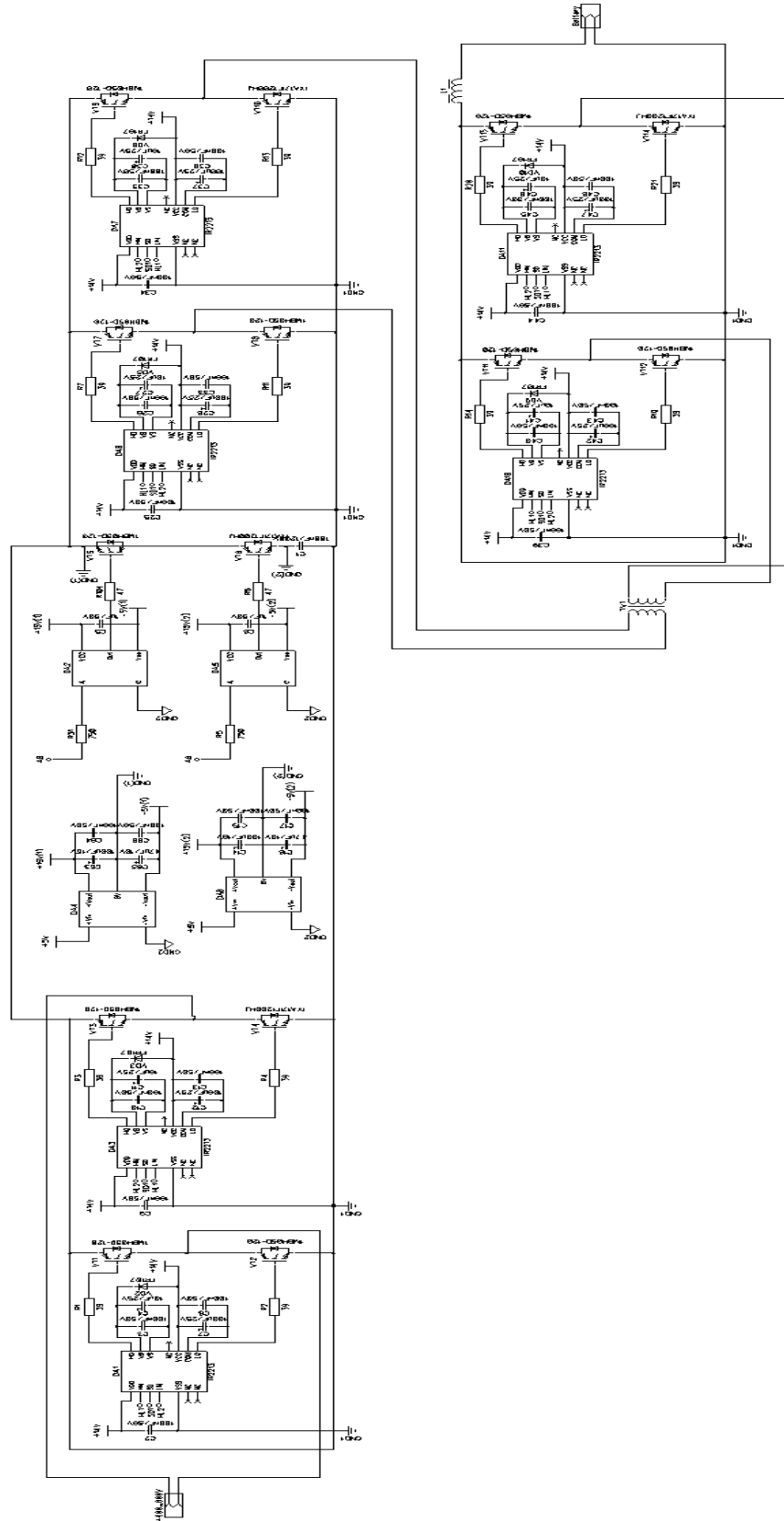


Рис. 2.7. Зарядний пристрій ємнісного накопичувача

Якщо працюють транзистори VT7-VT10, то енергія від мережі буде йти до акумулятора, тобто буде відбуватися заряджання акумулятора. Якщо працюють транзистори VT11-VT14, то це значить, що напруга контактної мережі зникла і енергія відбирається від акумулятора задля живлення тягової установки тролейбуса. Суперконденсатор C1 під'єднаний до мережі через транзистори VT5, VT6 і зменшує пікове навантаження на мережу. Випрямляч на транзисторах VT1-VT4 призначений для рекуперації енергії в мережу за необхідності. Якщо ж потреба в рекуперації енергії відсутня, то енергія буде йти в суперконденсатор.

Напруга мережі $U_m = 400 \div 600B$;

Середня потужність двигуна тролейбуса $P_{cep} = 130кВт$;

Пікова потужність двигуна тролейбуса $P_{nik} = 200кВт$.

Струм через транзистори VT1-VT4, VT7-VT14:

$$I = \frac{P_{cep}}{U_{m.min}} = \frac{130 \cdot 10^3}{400} = 325A.$$

Отже транзистори VT1-VT4, VT7-VT14 мають бути IGBT-типу, розраховані на напругу $U \geq 600B$ та струм $I \geq 325A$.

Обираємо транзистори SEMIX353GB126HD з наступними параметрами:

$$\begin{cases} U_{KE} = 1200B \\ I_K = 360A \end{cases}.$$

Струм через транзистори VT5, VT6:

$$I = \frac{P_{nik}}{U_{m.min}} = \frac{200 \cdot 10^3}{400} = 500A.$$

Отже транзистори VT5, VT6 мають бути IGBT-типу, розраховані на напругу $U \geq 600B$ та струм $I \geq 500A$.

Обираємо транзистори SKM400GAR128D з наступними параметрами:

перетворювачах. Високий діапазон робочої напруги вихідного етапу забезпечує напруги приводу, обов'язкові для пристроїв, керованих затвором. Напруга та високий піковий вихідний струм, що подається цим оптроном, робить його ідеально підходящим для прямого керування транзисторами на високій частоті на високоефективного перетворення.

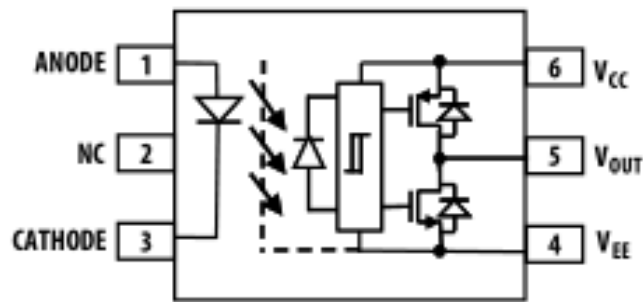


Рис. 2.9. Структурна схема драйвера Broadcom® ACPL-P346 / W346

ACPL-P346 та ACPL-W346 мають найбільшу напругу ізоляції $V_{IORM} = 891V_{пик}$ і $V_{IORM} = 1140V_{пик}$ відповідно в IEC / EN / DIN EN 60747-5-5.

Особливості:

- максимальний піковий вихідний струм 2.5 А;
- мінімальний піковий вихідний струм 2 А;
- поперечна вихідна напруга;
- максимальна затримка поширення 120 нс; □
- максимальна різниця затримки поширення 50 нс;
- вхідний струм ЛЕД з гістерезисом;
- мінімальне відхилення спільного режиму при 100 кВ/мкс $V_{CM} = 1500V$;
- максимальний струм джерела $I_{CC} = 4$ мА;
- блокувальний захист від недонапруги з гістерезисом;
- широкий діапазон напруги живлення V_{CC} : 10 В до 20 В;
- діапазон температур: $-40^{\circ}C$ до $+105^{\circ}C$.

Блок живлення для драйвера Broadcom® ACPL-P346 / W346

Для функціонування транзисторного драйвера Broadcom® ACPL-P346 / W346 потрібен блок живлення, структура якого зображена на рис.2.10.

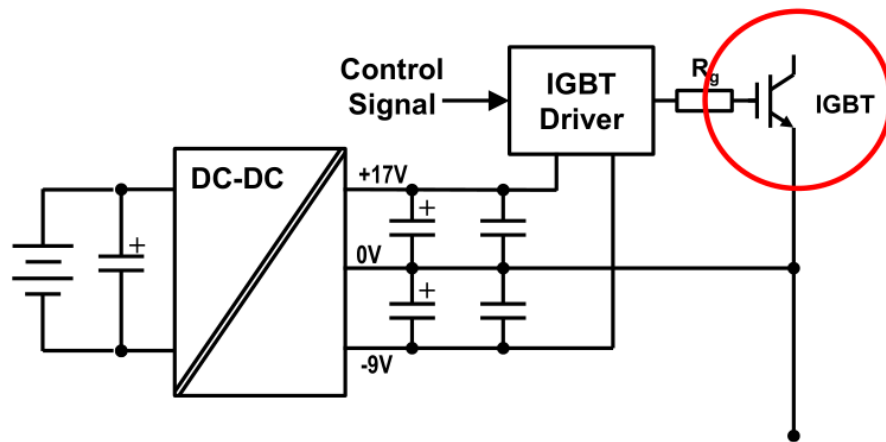


Рис. 2.10. Структурна схема блоку живлення для драйвера Broadcom® ACPL-P346 / W346

Параметрич роботи представлено блока живлення:

- Вихідна конфігурація: +15 В / -5 В;
- Вхідна напруга +5 В;
- Коротка тривалість високої ізоляції 5.2 кВ, тривала 1.5 кВ;
- Низька гранична ємність (<4пФ);
- Діапазон температур : -40°C до +100°C.

Висновки до другого розділу

Було досліджено структуру системи електроживлення звичайного тролейбуса, який рухається виключно за рахунок напруги контактної мережі. З'ясовано недоліки даної системи та на основі цього запропоновано варіант її покращення, а саме – комбіновану систему електроживлення.

Показано структуру комбінованої системи електроживлення та вказано її переваги над звичайною системою. Окрім цього, розроблено метод відбирання енергії з використанням ключового елементу цієї системи – ємнісного накопичувача.

Розроблено принципову схему зарядного пристрою для ємнісного накопичувача, проведено його повний розрахунок.

3. ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОГО ЕФЕКТУ ВИКОРИСТАННЯ ТРОЛЕЙБУСА З ВИСОКОВОЛЬТНИМ АКУМУЛЯТОРОМ

3.1. Економічні переваги порівняно зі звичайним троллейбусом

Головним недоліком звичайного троллейбуса є його прив'язаність до ліній електропередач. Якщо на його шляху будуть затори, станеться дорожньо-транспортна пригода чи обрив ліній електропередач, то він не зможе продовжити рух або якимось чином оминати дану ділянку. Це призведе до втрати часу, а отже й до зменшення прибутків як даного маршруту троллейбуса, так і людей, яких він перевозить, адже в такому випадку вони запізняться на роботу та недоотримають гроші, які б могли заробити за цей час у разі, якби прибули на роботу вчасно. З цими проблемами може впоратися троллейбус з високовольтним акумулятором. Але задля оцінки доцільності його використання треба оцінити економічні втрати, які виникають в екстрених випадках у разі використання звичайного троллейбуса, зокрема як ці надзвичайні ситуації в результаті вплинуть на загальний прибуток маршруту, по якому курсує троллейбус, а також на прибуток людей, яких він перевозить даний тип транспортного засобу. В цьому допоможе методика, наведена нижче. Оцінка проводиться по місту Києву.

Оцінимо вплив заторів та аварій на прибуток троллейбуса.

Прибуток троллейбуса за одиницю часу:

$$C_{\text{од.часу}} = \frac{C}{T}, \quad (3.1)$$

де C - прибуток за повне коло маршруту троллейбуса; T - тривалість маршруту троллейбуса.

Прибуток троллейбуса враховуючи аварії:

$$C_{\text{ав}} = \frac{C \cdot T}{(T + T_{\text{ав}})}, \quad (3.2)$$

де $T_{\text{ав}}$ - тривалість аварії.

Прибуток тролейбуса враховуючи затори:

$$C_{зат} = C \cdot \frac{v_{сер.зат}}{v_{ном}}, \quad (3.3)$$

де $v_{сер.зат}$ - середня швидкість проходження тролейбусом маршруту в умовах затору; $v_{ном}$ - номінальна швидкість тролейбуса.

Оцінимо вплив заторів та аварій на прибуток тролейбуса за такою формулою:

$$F(T_{ав}, v_{сер.зат}) = \frac{T}{T + T_{ав}} \cdot \frac{v_{сер.зат}}{v_{ном}}, \quad (3.4)$$

де F - частка від максимального прибутку маршруту тролейбуса.

Вплив заторів та аварій на прибуток маршруту тролейбуса проілюстровано на рис.3.1.

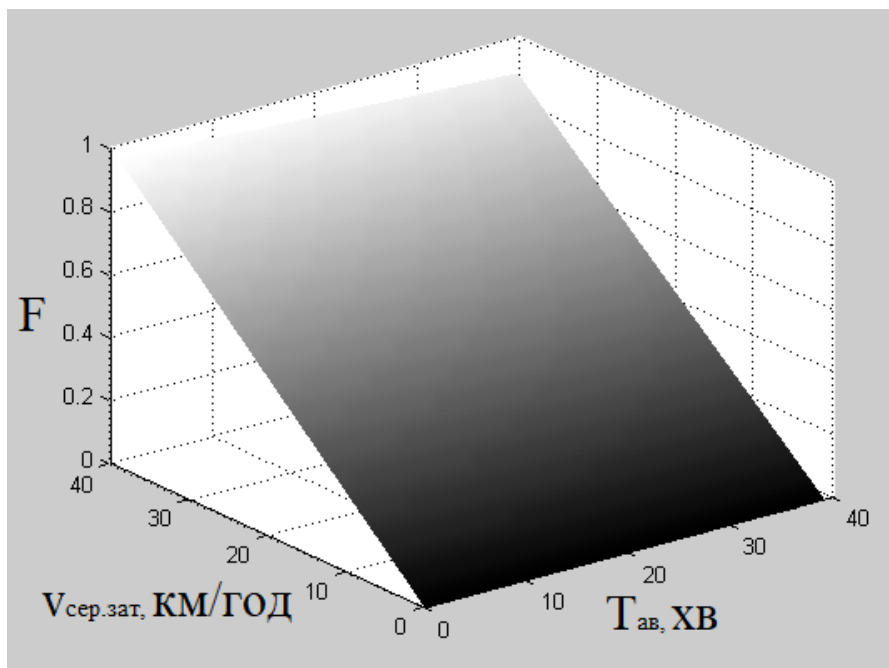


Рис.3.1. Вплив заторів та аварій на прибуток маршруту тролейбуса

Прибуток працівника, якого перевозить тролейбус:

$$C_{пр} = C_{сер.хв} \cdot T, \quad (3.5)$$

де $C_{сер.хв}$ - середній прибуток працівника за хвилину;

T - тривалість робочого дня працівника.

Отже, частка від максимального прибутку працівника:

$$F = \frac{T - T_{\text{зат}} - T_{\text{ав}}}{T} = \frac{T - \left(\frac{L_{\text{роб}}}{v_{\text{сер.зат}}} - \frac{L_{\text{роб}}}{v_{\text{ном}}} \right) - T_{\text{ав}}}{T}, \quad (3.6)$$

де $L_{\text{роб}}$ - відстань до роботи працівника.

Вплив заторів та аварій на прибуток пасажирів тролейбуса проілюстровано на рис.3.2.

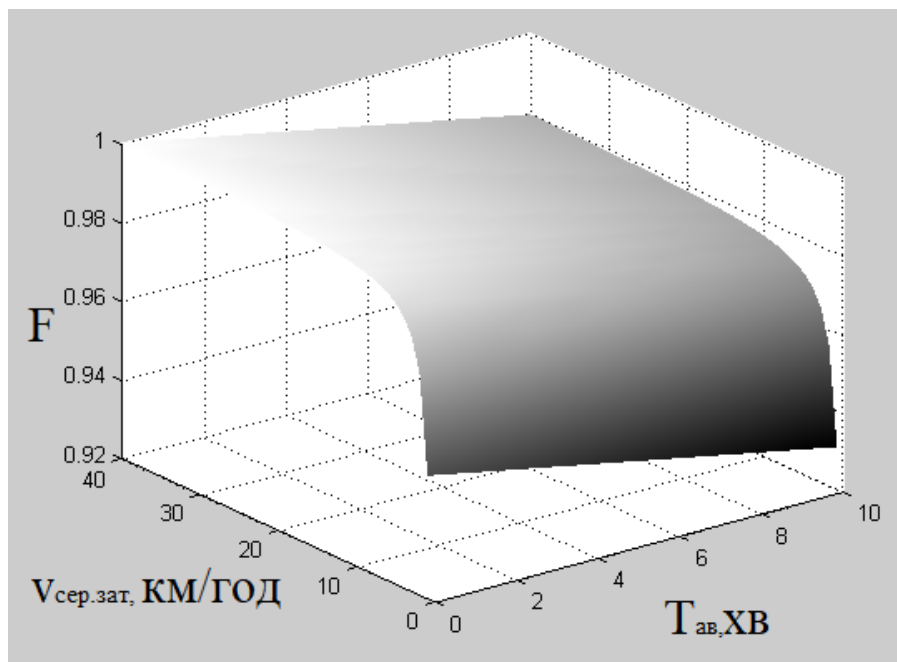


Рис.3.2. Вплив заторів та аварій на прибуток працівника, якого перевозить тролейбус

Використання тролейбуса з високовольтним акумулятором дозволить довести значення $T_{\text{ав}}$ до нуля та максимально збільшити середню швидкість просування тролейбуса під час заторів, що в свою чергу дозволить значно збільшити прибуток маршруту тролейбуса.

Було зроблено мапу тролейбусних та автобусних маршрутів міста Києва [22].

Для міста Києва було пораховано сумарну довжину автобусних та тролейбусних маршрутів, протяжність спільних дялінок маршрутів, по яких

рухаються і тролейбуси, і автобуси, а також довжину ділянок, по яких тролейбуси та автобуси рухаються окремо, тобто ділянок, які неспівпадають:

$$L_{\text{сум}} = 1442.71 \text{ км};$$

$$L_{\text{спільне}} = 680.83 \text{ км};$$

$$L_{\text{сум.несп}} = 761.87 \text{ км}.$$

Таким чином, спільні ділянки тролейбусних та автобусних маршрутів складають 47% від загальної довжини всіх маршрутів, а ділянки, де їх маршрути не співпадають, 53% відповідно.

Також на основі зробленої карти маршрутів було з'ясовано якої протяжності більша частина неспівпадаючих ділянок автобусних та тролейбусних маршрутів та побудовано гістограму, яка це демонструє (рис.3.3). Дана гістограма схожа на закон розподілу Пуассона. Побудуємо функцію ймовірності цього закону за такою формулою:

$$p(k) = P(Y = k) = \frac{\lambda^k}{k!} e^{-\lambda}, \quad (3.7)$$

де λ - математичне очікування випадкової величини.

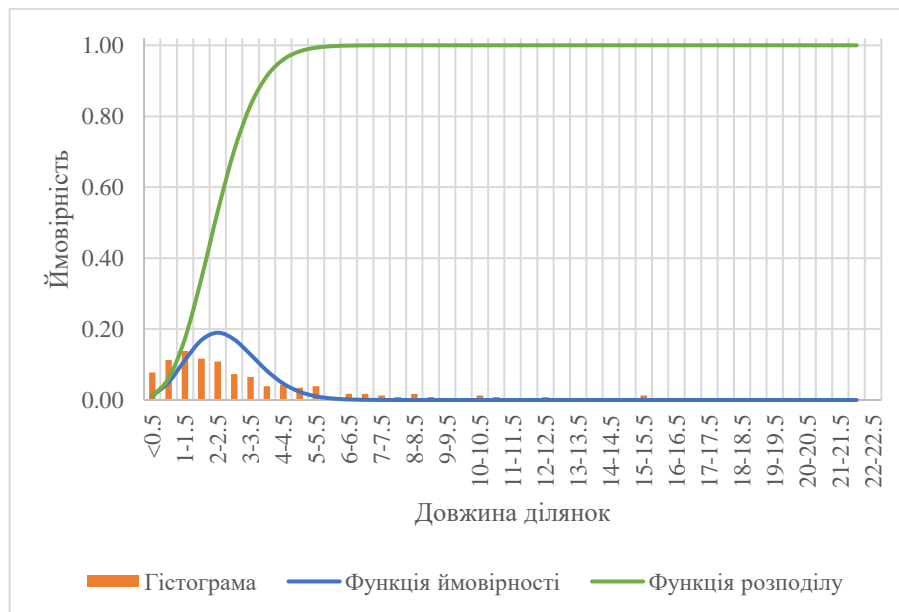


Рис.3.3. Гістограма неспівпадаючих ділянок маршрутів та закон розподілу Пуассона

Вираз для функції розподілу закону Пуассона:

$$p(k) = \frac{\Gamma(k+1, \lambda)}{k!}. \quad (3.8)$$

Функції ймовірності та розподілу закону Пуассона були побудовані при $\lambda = 4.5$.

З рис.3.3 видно, що високовольтний акумулятор тролейбуса з комбанованою системою електроживлення має бути розрахованим на відстань автономного ходу 4.5 км.

Визначимо ємність акумулятора за такою формулою:

$$C = \frac{L \cdot W}{U}, \quad (3.9)$$

де $L = 4.5 \text{ км}$ - відстань, на яку має бути розрахований високовольтний акумулятор; $W = 9.472 \text{ кВт} \cdot \text{год}$ - енергія на 1 км шляху з урахуванням розгону і гальмування [20]; $U = 600 \text{ В}$ - напруга високовольтного акумулятора.

Розрахуємо ємність високовольтного акумулятора:

$$C = \frac{L \cdot W}{U} = \frac{4.5 \cdot 9.472}{600} = 71 \text{ А} \cdot \text{год}.$$

Обчислимо потужність високовольтного акумулятора:

$$P = U \cdot C = 600 \cdot 71 = 42.6 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Розрахований акумулятор побудований на основі літій-іонної технології.

Розрахуємо ціну високовольтного акумулятора. Ціна 1 кВт енергоємності акумулятора складає 10000 гривень [21]. Отже вартість високовольтного акумулятора становить:

$$M = P \cdot 400 = 42.6 \cdot 10000 = 426000 \text{ грн}.$$

Розрахуємо величину ємності батареї суперконденсаторів. Для цього спочатку знайдемо величину енергії, на яку вона має бути розрахована:

$$E = P_{\max} \cdot T = 100 \cdot 10^3 \cdot 30 = 3 \text{ МДж},$$

де $P_{\max} = 100 \text{ кВт}$ - максимальна потужність тягового двигуна тролейбуса; T - інтервал часу, протягом якого тролейбус періодично гальмує та розганяється.

Отже, знайдемо величину ємності батареї суперконденсаторів:

$$C \left(\frac{U_{\max}^2 - U_{\min}^2}{2} \right) = E$$

$$C \left(\frac{600^2 - 400^2}{2} \right) = 3 \cdot 10^6$$

$$C = 30 \text{ Ф},$$

де U_{\max} та U_{\min} - максимальна та мінімальна напруги, на які має бути розрахована батарея суперконденсаторів.

Отже, батарея суперконденсаторів має бути розрахована на $U = 600 \text{ В}$ та $C = 30 \text{ Ф}$. Дана батарея складається з 15 суперконденсаторів та коштує 575 000 грн.

Порівняємо прибуток звичайного тролейбуса та тролейбуса з високовольтним акумулятором в умовах заторів та аварій. Нехай є тролейбусний маршрут з такими даними:

$$T_{\text{роб}} = 1080 \text{ хв};$$

$$T = 68 \text{ хв};$$

$$C_{\text{тр.коло}} = 1564 \text{ грн};$$

$$N_{\text{кіл}} = \frac{T_{\text{роб}}}{T} = \frac{1080}{68} = 16,$$

де $C_{\text{тр.коло}}$ - прибуток тролейбуса за одне коло маршруту; $T_{\text{роб}}$ - тривалість робочого дня тролейбуса; $N_{\text{кіл}}$ - кількість кіл, яку тролейбус здійснить за день.

Скориставшись формулою (6), обчислимо частку прибутку звичайного тролейбуса:

$$F = \frac{T}{T + T_{\text{ав}}} \cdot \frac{v_{\text{сер.зат}}}{v_{\text{ном}}} = \frac{68}{68 + 3.4} \cdot \frac{15}{40} = 35.7\%$$

або 558.34 грн.

Частка прибутку тролейбуса з високовольтним акумулятором:

$$F = \frac{T}{T + T_{\text{ав}}} \cdot \frac{v_{\text{сер.зат}}}{v_{\text{ном}}} = \frac{68}{68 + 3.4} \cdot \frac{20}{40} = 47.6\%$$

або 744.46 грн.

Тобто виграш в прибутку тролейбуса з високовольтним акумулятором порівняно зі звичайним тролейбусом складає :

$$\Delta F_{mp} = 744.46 - 558.34 = 186.11 \text{ грн.}$$

Але враховуючи те, що за статистикою з 18 робочих годин на день 4 години припадають на затори, то реальний виграш у прибутку буде в $\frac{18}{4} = 4.5$ разів меншим, а саме:

$$\Delta F_{mp} = \frac{186.11}{4.5} = 41.36 \text{ грн.}$$

Термін експлуатації акумулятора складає 5 років, отже порахуємо виграш у прибутку порівняно зі звичайним тролейбусом саме за цей термін.

Кількість кіл маршруту, які пройде тролейбус за 5 років:

$$N_{kil} = 29200.$$

Отже ΔF_{mp} за 5 років:

$$\Delta F_{mp} = 41.36 \cdot 29200 = 1207712 \text{ грн.}$$

З урахуванням суми витрачених коштів на високовольтний акумулятор та батарею суперконденсаторів чистий прибуток для тролейбусного депо від використання тролейбуса з комбінованою системою електроживлення буде становити:

$$\Delta F_{чист} = 1207712 - 426000 - 575000 = 206712 \text{ грн.}$$

Строк окупності високовольтного акумулятора та батареї суперконденсаторів складе:

$$T_{ок.а} = \frac{(426000 + 575000) \cdot 5}{1207712} = 4 \text{ роки.}$$

Порівняємо вплив звичайного тролейбуса та тролейбуса з високовольтним акумулятором на прибуток працівника, який дістається тролейбусом на роботу.

Середня заробітна плата в місті Києві складає 16249 грн в місяць. Отже плата працівника за 1 хвилину складає:

$$C_{хв} = 1.69 \text{ грн.}$$

Тривалість робочого дня працівника складає $T_{роб} = 480$ хв. Отже прибуток працівника за 1 день при нормальних умовах :

$$C = T_{роб} \cdot C_{хв} = 480 \cdot 1.69 = 811.2 \text{ грн.}$$

Нехай відстань до роботи працівника $L_{роб} = 7.94$ км; час аварій $T_{ав} = 10$ хв.

Отже частка прибутку працівника від звичайного, якби він діставався на роботу звичайним тролейбусом в умовах заторів та аварій за формулою (8):

$$F = \frac{T - T_{зат} - T_{ав}}{T} = \frac{T - \left(\frac{L_{роб}}{v_{сер.зат}} - \frac{L_{роб}}{v_{ном}} \right) - T_{ав}}{T} =$$

$$= \frac{480 - \left(\frac{7.94}{15} - \frac{7.94}{40} \right) - 10}{480} = 97.8\%$$

або 793.35 грн.

Частка прибутку працівника від звичайного, якби він діставався на роботу тролейбусом з високовольтним акумулятором в умовах заторів та аварій:

$$F = \frac{T - T_{зат} - T_{ав}}{T} = \frac{T - \left(\frac{L_{роб}}{v_{сер.зат}} - \frac{L_{роб}}{v_{ном}} \right) - T_{ав}}{T} =$$

$$= \frac{480 - \left(\frac{7.94}{20} - \frac{7.94}{40} \right) - 10}{480} = 99.9\%$$

або 810.38 грн.

Тобто виграш в прибутку працівника за день у випадку, якщо він буде діставатися на роботу тролейбусом з високовольтним акумулятором, складе:

$$\Delta F_{np} = 810.38 - 793.35 = 17.03 \text{ грн.}$$

За 5 років виграш у прибутку працівника складе:

$$\Delta F_{np} = 20436 \text{ грн.}$$

Але ці розрахунки проведені для одного працівника, тобто пасажир тролейбуса. Його ж пасажиромісткість складає 100 осіб. Тому обчислимо виграш у прибутку для всіх пасажирів тролейбуса:

$$\Delta F_{np} = 20436 \cdot 100 = 2043600 \text{ грн.}$$

Строк окупності ємнісного накопичувача для міста Києва:

$$T_{ок.а} = \frac{(426000 + 575000) \cdot 5}{2043600} = 2.4 \text{ роки.}$$

Розрахуємо загальний економічний ефект для міста Києва від використання комбінованої системи електроживлення тролейбуса з високовольтним акумулятором за 5 років:

$$\Delta F_{сум} = \Delta F_{np} + \Delta F_{чист.тр} = 2043600 + 206712 = 2250312 \text{ грн.}$$

Складова сумарного прибутку ΔF_{np} не зосереджена в руках однієї організації чи особи, а розподілена між мешканцями міста, тобто пасажирами тролейбуса. Таким чином ΔF_{np} покращує валовий внутрішній продукт країни і створює позитивний соціальний ефект для міста та країни в цілому.

3.2 Економічні переваги порівняно з автобусом

Автобус - досить шкідливий вид транспорту, адже він забруднює навколишнє середовище. Тому для покращення екологічного становища в місті слід замінювати автобуси на електротранспорт. Проте окрім екологічної важлива також і економічна сторона питання заміни автобусів на електротранспорт. В табл.3.1 наведене порівняння автобуса з трьома видами електротранспорту, а саме звичайним тролейбусом, тролейбусом з високовольтним акумулятором (ВА) та електробусом, з економічної точки зору.

Дане порівняння дає можливість оцінити який з трьох наведених нижче видів електротранспорту є найбільш економічно вигідною заміною для автобусного маршруту.

Таблиця 3.1

	Автобус	Звичайний тролейбус	Тролейбус з ВА	Електробус
Маршрут, км	20			
Вартість прокладання інфраструктури, грн	-	94 000 000	-	-
Ціна ТС, грн	4 000 000	6 000 000	6 000 000	9 000 000
Вартість ємнісного накопичувача, грн	-	-	1 000 000	-
Загальні витрати для початку курсування, грн	4 000 000	100 000 000	7 000 000	9 000 000
Вартість л/кВт, грн	28.18	2.5	2.5	2.5
Витрати на 100 км, л, кВт/год	40	156	156	156
Максимальний прибуток в день, грн	7000	7000	7000	7000
Частка від максимального прибутку в день в умовах заторів та аварій	60 %	35.7 %	47.6 %	60 %
Витрати на паливо/електроенергію за день, грн	2254	780	780	780
Фактичний прибуток за день, грн	1946	1719	2552	3420
Фактичний прибуток за рік, грн	653 856	577 584	857 472	1 149 120
Вартість проїзду, грн	8	8	8	8
Строк окупності, років	6.1	173	8.1	7.8

Таким чином видно, що навіть не зважаючи на те, що автобус окупиться швидше, ніж наведені види електротранспорту, проте прибуток тролейбуса з високовольтним акумулятором та електробуса на 25 % та на 44 % відповідно більший ніж у автобуса і вже менш ніж за 2 роки після строку окупності автобуса електротранспорт почне приносити значно більші прибутки. Окрім цього, екологічна ситуація в місті значно покращиться.

І хоча з табл.3.1 видно, що прибуток електробуса більший, ніж в тролейбуса з високовольтним акумулятором, проте в останнього є дві суттєві переваги:

- наявність батареї суперконденсаторів: вона забезпечує більш енергоефективне керування тяговою системою;
- значно менша вартість ремонту та експлуатації.

Наведені вище переваги тролейбуса з високовольтним акумулятором не були враховані при розрахунку даних табл.3.1, тому врешті-решт використання даного транспортного засобу є більш доцільним за використання електробуса.

Висновки до третього розділу

Було досліджено та наочно показано, що через затори та аварії прибуток маршруту тролейбуса та пасажирів, яких він перевозить, зменшується, адже за таких умов тролейбуси за довший час проходять свій маршрут, а відповідно й його пасажирів запізнюються на роботу, що призводить до втрати прибутку цих двох сторін.

В зв'язку з цим було проведено оцінку економічного ефекту від використання тролейбуса з комбінованою системою електроживлення замість звичайного тролейбуса. Розраховано ємність та вартість ємнісного накопичувача і в цілому доведено доцільність та ефективність використання тролейбуса з комбінованою системою електроживлення з економічної точки зору.

4. РОЗРОБКА СТАРТАП – ПРОЕКТУ

Однією з основних причин створення, успішного розвитку та подальшого існування стартапів вважають неповоротність і повільність великих корпорацій, які успішно використовують уже наявні продукти, а розробкою і створенням нових майже не займаються. Тому стартапи, завдяки своїй мобільності в плані втілення нових ідей складають конкуренцію великим корпораціям.

Основним ресурсом для створення нового стартапу служить хороша новаторська ідея. Власне за свіжими і незвичайними ідеями женеться більшість і часто, купуючи їх, не шкодують великі суми грошей. Сама ідея, що не має ніякого матеріального втілення, а існує тільки на папері, або «на словах» (план стартапу), може коштувати дуже багато. Іншим фактором успішності цієї ідеї є її затребуваність (ступінь необхідності для споживача), адже ідея може бути незвичайною і новою, але користі від неї буде мінімум.

Етапи розробки стартап – проекту

1. Маркетинговий аналіз стартап – проекту

- розробляється опис самої ідеї проекту та визначаються загальні напрями використання потенційного товару чи послуги, а також їх відмінність від конкурентів;

- аналізуються ринкові можливості щодо його реалізації;
- на базі аналізу ринкового середовища розробляється стратегія ринкового впровадження потенційного товару в межах проекту.

2. Організація стартап – проекту

- складається календарний план – графік реалізації стартап – проекту;
- розраховується потреба в основних засобах та нематеріальних активах;

- визначається плановий обсяг виробництва потенційного товару, на основі чого формулюється потреба у матеріальних ресурсах та персоналі;

- розраховуються загальні початкові витрати на запуск проекту та планові загальногосподарські витрати, необхідні для реалізації.

3. Фінансово – економічний аналіз та оцінка ризиків проекту

- визначається обсяг інвестиційних витрат;
- розраховуються основні фінансово – економічні показники проекту (обсяг виробництва продукції, собівартість виробництва, ціна реалізації, податкове навантаження та чистий прибуток) та визначаються показники інвестиційної привабливості проекту (запас фінансової міцності, рентабельність продажів та інвестицій, період окупності проекту);
- визначається рівень ризикованості проекту, визначаються основні ризики проекту та шляхи їх запобігання (реагування на ризики).

4. Заходи з комерціалізації проекту

- визначення цільової групи інвесторів та опису їх ділових інтересів;
- складання інвест – пропозиції (оферти): стислої характеристики проекту для попереднього ознайомлення інвестора із проектом;
- планування заходів з просування оферти: визначення комунікаційних каналів та площадок та планування системи заходів з просування в межах обраних каналів;
- планування ресурсів для реалізації заходів з просування пропозиції.

Означені етапи, реалізовані послідовно та вчасно, створюють передумови для успішного ринкового старту.

В рамках магістерської дисертації було розглянуто перший етап розробки стартап – проекту, а саме маркетинговий аналіз стартап – проекту комбінованої системи електроживлення тролейбуса з високовольтним акумулятором.

4.1. Опис ідеї проекту (технології)

Спочатку було розроблено зміст ідеї та можливі потенційні ринки даною проекту в межах яких слід шукати потенційних клієнтів.

В табл. 4.1 наведено напрямки застосування та вигоди для користувача.

Таблиця 4.1

Зміст ідеї	Напрями застосування	Вигоди для користувача
Зміст ідеї: створення та реалізація комбінованої системи електроживлення тролейбуса з високовольтним акумулятором	1. Комунальний транспорт	Покращення мобільності комунального транспорту.
	2. Військові й технології	Розробка систем живлення на основі акумуляторів для військової техніки.
	3. Виробництво електрокарів	Вдосконалення наявних систем живлення електрокарів

Було визначено 3 напрямки застосування ідеї та вигоди для користувача.

Для того, щоб оцінити бізнес – ідею, необхідно зробити аналіз її потенційних техніко – економічних переваг (відмінність від існуючих аналогів та замінників) порівняно із пропозиціями конкурентів. Для цього було обрано 3 конкуренти.

В табл.4.2 наведено визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту. Було визначено, що ідея має спроможність на конкуренцію та має унікальні можливості для ринку.

Таблиця 4.2

№	Техніко – економічні характеристики ідеї	Мій проект	T70117	T203	E19101
1	Можливість автономного ходу	Так	Ні	Так	Так
2	Не потребує прокладання інфраструктури	Так	Ні	Так	Так

3	Можливість запасання енергії після рекуперації	Так	Ні	Так	Ні
4	Дешевизна експлуатації	Так	Ні	Ні	Ні

4.2. Технологічний аудит ідеї проекту

Наступним кроком було розроблено технологічний аудит ринку для визначення доступності технологій для розробки комбінованої системи (табл.4.3).

Таблиця 4.3

№	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Забезпечення автономного ходу	Розробка, дослідження	Наявна	Наявна
2	Винайдення механізму запасання енергії після рекуперації	Розробка, дослідження	Наявна	Наявна

Було визначено, що технічно та технологічно реалізацію продукту можливо зробити.

4.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап - проекту

Під час аналізу було визначено можливості, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту. Це дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів – конкурентів (табл.4.4).

Таблиця 4.4

№	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	300
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	13000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає

4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Немає
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Є
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	70

Отже, динаміка ринку зростає і загальний обсяг продаж великий, тому розвиток ідеї даного проекту є перспективним та доцільним.

Далі визначаються потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формується орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл.4.5).

Таблиця 4.5

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
Забезпечення автономного ходу; мінімізування часу запізнення на роботу	Простий користувач (для міських умов); комунальні служби	Експлуатація в різних умовах	- до продукції: точність; надійність; дешевизна; якість; - до компанії – постачальника: Точність; Брендинг та відомість; Гарантійність

Далі в рамках аналізу було визначено цільову аудиторію та її вимоги. Після визначення потенційних груп клієнтів проводиться аналіз ринкового середовища: складаються таблиці факторів (табл.4.6, 4.7), що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають.

Таблиця 4.6

№	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Вартість акумулятора	Досить висока вартість	Пошук додаткових джерел фінансування
2	Вартість батареї суперконденсаторів		

Таблиця 4.7

№	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Висока мобільність	Переваги при перевезенні пасажирів	Маркетинг у цих напрямках для рекомендування себе, як компанії, на ринку.
2	Надійність		

Було визначено, що загрози і можливості можливо фізично подолати. Надалі проводиться аналіз пропозиції: визначаються загальні риси конкуренції на ринку (табл. 4.8).

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT – аналізу (табл.4.9) – матриці аналізу сильних та слабких сторін, загроз та можливостей.

Таблиця 4.8

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентноспроможною)
1. Тип конкуренції: чиста	В кого краще – той і везе	Покращення товару та сфери обслуговування
2. За рівнем конкурентної боротьби: локальна	Належить до повсякденного ринку перевезень;	Розширення функціоналу та орієнтації користувачів
3. За галузевою ознакою: міжгалузева	Притаманна різним галузям застосування;	Розширення функціоналу та галузей застосування
4. Конкуренція за видами товарів: товарно-видова	Належить до перевізників людей в місті	Розширення можливостей транспортного засобу
5. За характером конкурентних переваг: цінова та нецінова	Чим дешевше – тим привабливіше; Чим краще – тим рентабельніше;	По якості цінової політики та якості перевезень
6. За інтенсивністю: на марочна	Не жорстка конкуренція	Агресивні та неагресивні форми піару

Таблиця 4.9

Сильні сторони	Слабкі сторони
Висока мобільність; Надійність	Висока вартість акумулятора; Висока вартість батареї суперконденсаторів
Можливості	Загрози
Переваги при перевезенні пасажирів	Досить висока вартість

4.4. Розробка маркетингової програми стартап - проекту

Розробка ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: вибір стратегії конкурентної поведінки та опис цільових груп потенційних споживачів (табл.4.10).

Таблиця 4.10

Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів ?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
Ні	Буде шукати нових і переманювати у конкурентів.	Ні	Помірна, місцями агресивна

Першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач. Для цього потрібно підсумувати результати попереднього аналізу конкурентноспроможності товару (табл.4.11).

Таблиця 4.11

Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
Забезпечення автономного ходу;	Реалізація ідеї комбінованої системи електроживлення тролейбуса	Точність; Надійність; Дешевизна.

Мінімування часу запізнення на роботу.	характеризується невисокою вартістю.	
--	--------------------------------------	--

Наступним кроком є визначення цільових меж, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар (остаточне визначення ціни відбувається під час фінансово – економічного аналізу проекту), яке передбачає аналіз ціни на товари – аналоги або товари субститути, а також аналіз рівня доходів цільової групи споживачів (табл.4.12).

Таблиця 4.12

№	Рівень цін на товари - замітники	Рівень цін на товари - аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	180-200% від ціни нашого продукту	180-200% від ціни нашого продукту	20000-40000 грн зі 100 од.	6000/13000 грн

Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту, в межах якої приймається рішення (табл.4.13).

Таблиця 4.13

№	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Задоволення потреб користувача за виявленням аномалій у системі	Задоволення запитаних потреб клієнтів	Усі можливі канали збуту (глибока)	Власна
2		Реклама товару та задоволення запитаних	Усі можливі канали збуту (глибока)	Залучена

		потреб клієнтів		
--	--	--------------------	--	--

Висновки до четвертого розділу

Згідно проведеного аналізу розроблюваний проект має можливість ринкової комерціалізації. Зростання попиту на аналогічні послуги додає масовості використання даної системи живлення, але створює жорсткі конкурентні умови виходу на ринок, де динаміка ринку доволі сприятлива до розроблюваного проекту.

Проект має високі перспективи впровадження з огляду на потенційні групи клієнтів, якими виступають військові служби та комунальні перевізники, виробники електрокарів. Бар'єрами впровадження на ринок можуть бути відсутність масового виробника, сильний конкурентний тиск з боку великих фірм аналогічних продуктів. Але якщо вести агресивну боротьбу в конкурентному середовищі, проект має великі шанси та можливість зарекомендувати бренд, де в подальшому здобудеться місце на ринковій економіці. Подальша імплементація проекту є доцільною та рентабельною.

ВИСНОВКИ

В даній магістерській дисертації розроблена комбінована система електроживлення тролейбуса, ключовим елементом якої є високовольтний літій-іонний акумулятор. Тролейбус є значно більш екологічним та дешевим в експлуатації видом транспорту, ніж автобус, і в той же час завдяки наявності в нього ємнісного накопичувача він позбавлений головного недоліку звичайного тролейбуса, який рухається виключно за рахунок напруги контактної мережі – низької мобільності. Комбінована система електроживлення дає змогу збільшити середню швидкість просування тролейбуса на маршруті в умовах заторів та довести час аварій до нуля, що вкрай позитивно впливає на прибуток тролейбуса та пасажирів, яких він перевозить, адже вони матимуть змогу максимально швидко дістатися до своєї роботи. Доказом цього є обчислений економічний ефект від використання комбінованої системи електроживлення тролейбуса з високовольтним акумулятором – 2220312 грн, що у 2.2 рази більше ніж вартість ємнісного накопичувача. Отже, тролейбус з комбінованою системою електроживлення є вкрай вигідним видом громадського міського транспорту та має дуже великий потенціал.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. A.G. Tonkal, T.I. Khodasevich. Chargers. /Tonkal A.G., Khodasevich T.I. - Issue 2 - 190 p.
2. Schmidt-Rohr, Klaus. How Batteries Store and Release Energy: Explaining Basic Electrochemistry. /Shmidt-Rohr, Klaus - Journal of Chemical Education. 95 (10): 18011810 - 2018 - **DOI:** [10.1021 / acs.jchemed.8b00479](https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.8b00479).
3. Pistoia, Gianfranco. Batteries for Portable Devices. /Pistoia, Gianfranco - World Trolleybus Encyclopaedia. Yateley, Hampshire, UK, 2005.
4. Murray, Alan. Farewell to a Rural Trolleybus. /Murray, Alan - Trolleybus Magazine 94, 2007 - p. 65.
5. Duncan Allen . Boston Transit. /Allen Duncan - The Silver Line - 2005 - **URL:** nycsubway.org
6. Trolleybus [Electronic resource] - **URL:** <https://en.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%80%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D0%B9%D0%B1%D1%83%D1%81>
7. Bellis, Mary. History of the Electric Battery. /Bellis, Mary, 2008 - **URL:** About.com.
8. Borvon, Gerard. History of Electrical Units. /Borvon, Gerard - Association S-EAU-S., 2012.
9. I. Galkin, A. Blinov, I. Verbytskyi, D. Zinchenko. Modular Self-Balancing Battery Charger Concept for Cost-Effective Power-Assist Wheelchairs./Galkin I., Blinov A., Verbytskyi I., Zinchenko D. - Energies 2019, 12, 1526. **DOI:** [10.3390/en12081526](https://doi.org/10.3390/en12081526).
10. A. G. Kyselova; I. V. Verbitskyi; G. D. Kyselov. Context-aware framework for energy management system. /Kyselova A.G., Verbiskyi I.V., Kyselov G.D. - 2nd International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS), Kyiv, 2016 - P. 1-4 - **DOI:** [10.1109/IEPS.2016.7521890](https://doi.org/10.1109/IEPS.2016.7521890).
11. I. Verbytskyi, O.Bondarenko, D. Vinnikov. Multicell-type current regulator based on Cuk converter for resistance welding. /Verbytskyi I., Bondarenko

O., Vinnikov D. - 2017 IEEE 58th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCon), Riga, 2017 - Pp. 1 – 6 - **DOI:**[10.1109/RTUCon.2017.8124844](https://doi.org/10.1109/RTUCon.2017.8124844).

12. A. Kang, G. Cedar. Battery materials for ultrafast charging and discharging. / Kang B., Cedar G. - Nature. 458 (7235): 190193., 2009 - **DOI:** [10.1038/nature07853](https://doi.org/10.1038/nature07853).

13. Filip M. Gieszczykiewicz. Sci.Electronics. /Gieszczykiewicz Filip M. - 2010 - **URL:**repairfaq.org.

14. M.B Shelest, P.I Hayda. Bases of structure and operation of rechargeable batteries. /Shelest M.B., Hayda P.I. - Sumy: Sum. state. Univ., 2014 - 210 p.

15. Schweber, Bill. Lithium Batteries: The Pros and Cons. /Schweber, Bill - GlobalSpec, 2015.

16. D.A. Khrustalev. Accumulators. /Khrustalev D.A. - Emerald – 2003 - 224 p.

17. V. Lavrus. Batteries and accumulators. /Lavrus V., 2005.

18. Fowler, Suzanne. The Problem with Lithium Ion Batteries./Fowler, Suzanne - The New York Times, 2016.

19. Hislop, Martin. Solid-state EV battery breakthrough from Li-ion battery inventor John Goodenough./Hislop, Martin - North American Energy News, 2017.

20. T. R. Crompton. Battery Reference Book./Crompton T.R. – Newnes, 2000.

21. Ronald Dell, David Anthony, James Rand. Understanding Batteries./Dell Ronald, Anthony David, Rand James - Royal Society of Chemistry, 2001.

22. I.A Martyukhin, M.V. Bely. Vehicle with a battery with reduced overall dimensions./Martyukhin I.A., Bely M.V. – ElectronAccountEng, 2019.

23. Tesla Powerwall 2 Datasheet - North America [electronic resource] - **URL:**https://www.tesla.com/sites/default/files/pdfs/powerwall/Powerwall%202_A_C_Datasheet_en_northamerica.pdf

24. Map of bus and trolleybus routes [electronic resource] - **URL:** <https://kyivroutes.blogspot.com/2019/11/blog-post.html>.

25. V. V. Selifanov, A. S. Khusainov, and V. V. Lomakin. Teoriya avtomobilya: Uchebnoye posobiye./Selifanov V.V., Khusainov A.S., Lomakin V.V. - Moscow: MGTU «MAMI», 2007 - ISBN: 9785040585304.
26. N. A. Khripach, F. A. Shustrov, and D. A. Petrichenko. Analysis of the energy efficiency of trackless passenger transport on the basis of traction electric drive. /Khripach N.A., Shustrov F.A., Petrichenko D.A. - Mod. Probl. Sci. Educ., no. 6, 2014.
27. Gavrilyuk V. I. IR spectra of inclusion compounds in the Li-V₂O₅ system. /V.I. Gavrilyuk - Inorganic materials, 1997 – P.1142-1143.
28. Gavrilyuk V. I. Thermodynamics of lithium intercalation in glassy vanadium pentoxide./V.I. Gavrilyuk - Technical Physics, 1997. – Vol. 42 – P. 121-123.
29. Khandetskii V. S., Gavrilyuk V. I., Khadedskii P.V. Study of physical models of a monolayer of a fiber composite by the eddy-current method / V. S. Khandetskii, V. I. Gavrilyuk, P. V. Khandetskii - Russian Journal of Nondestructive Testing, 1999 – P. 661-668.
30. Варыпаев В. Н., Дасоян М. А., Никольский В. А. Химические источники тока./ В.Н. Варыпаев, М.А. Дасоян, В.А. Никольский - Москва : Высшая школа, 1990 - 240 с.
31. Багоцкий В.С., Скундин А.М. Химические источники тока./В.С. Багоцкий, А.М. Скундин - Москва:Энергоиздат, 1981 - 360 с.
32. Ефремов И.С., Кобозев В.М. Механічне обладнання тролейбусів./И.С. Ефремов, В.М. Кобозев — М. : Транспорт, 1978.
33. Иванов М.Д. Механічне обладнання електрорухомого складу міського транспорту./М.Д. Иванов — М. : Транспорт, 1980.
34. Тютрюмов О. С. Автомобильные щелочные аккумуляторные батарей./ О.С. Тютрюмов — Москва, 1958.
35. Куликов И. Г. Аккумуляторы./ И.Г. Куликов — Москва, 1958.

36. Войнаровский П.Д.. Электрические аккумуляторы./ П.Д. Войнаровский - Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона : в 86 т. (82 т. и 4 доп.). — СПб, 1975.
37. Варламов Р.Г. Современные источники питания./ Р.Г.Варламов, 1998.
38. Рогинский В.Ю. Современные источники электропитания./В.Ю. Рогинский, 1969.
39. Гаврилюк В. І, Сиченко В.Г., Сердюк Т.М. Електроживлення систем автоматики, телемеханіки та зв'язку / В. І. Гаврилюк, В. Г. Сиченко, Т. М. Сердюк. – Д.: Дніпропетр. нац.. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2016. – 193 с.
40. Сердюк Т. Н, Олейник А.Р. Применение аккумуляторов на постах электрической централизации, переездах и батарейных шкафах входных светофоров / Т. Н. Сердюк, А. Р.– Ном. 11. – Днепропетровск: Изд-во ДНУЖТ, 2016. – С. 24–34.
41. Профатилов В. И., Сердюк Т.Н. Особенности эксплуатации современных аккумуляторов и батарей./ В. И. Профатилов, Т. Н. Сердюк - Днепропетровск: Изд-во ДНУЖТ, 2014. – С. 70–81.
42. Вихарев Л. И вновь о правильном питании или некоторые особенности эксплуатации литиевых батарей / Л.И. Вихарев - Компоненты и технологии, 2006.
43. Бейбулатова, С. И. Необслуживаемые аккумуляторы для железнодорожной автоматики и телемеханики [Текст]/ С. И. Бейбулатова, Д. И. Селиверов // Молодой ученый – 2012. – № 3. – С. 29-31.
44. Спицын Д. Расчет реальной емкости аккумулятора в зависимости от нагрузки / Д. Спицын – 2010.
45. Сазонов И. Е., Лукьяненко М. В. Выравнивание заряда в литий-ионных аккумуляторных батареях / И.Е. Сазонов, М.В. Лукьяненко - Красноярск: СибГУ им. М. Ф. Решетнева — № 9, т. 1, 2013 г. - С. 204.

46. Н. Бровка, О. Янченков. Применение специализированных микропроцессоров для построения схем контроля и защиты литий-ионных и литий-полимерных аккумуляторных батарей /Бровка Н., Янченков О. - Журнал «Компоненты и Технологии». — № 3, 2007 г. С. 132—135.

47. Сердечный Д. В., Томашевский Ю. Б. Управление процессом заряда многоэлементных литий-ионных аккумуляторных батарей. /Д.В. Сердечный, Ю.Б. Томашевский - Журнал «Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль». — № 3 (21), 2017 г. - С. 115—123.

48. Мельничук О. В., Фетисов В. С. Особенности заряда и разряда литиевых аккумуляторных батарей и современные технические средства управления этими процессами /О.В. Мельничук, В.С. Фетисов - Журнал «Электротехнические и информационные комплексы и системы». — № 2, т. 12, 2016 г. С. 41-48.

49. В. П. Веклич. Diagnostuvannya tekhnichnogo stanu troлейбусів./ Веклич В.П. — М. : Транспорт, 1990. — 295 с.

50. С. А. Ребров. Влаштування і технічна експлуатація троллейбусу./Ребров С.А. — К. : Будівельник, 1966. — 303 с.

51. Вербицкий Є.В., Губка Є. О. Комбінована система електроживлення троллейбуса та економічний ефект від її використання // _Мікросистеми, Електроніка та Акустика – 2019. (прийнято до друку)

52. Губка Є.О. «Комбінована система електроживлення троллейбуса та економічний ефект від її використання». Збірник праць Всеукраїнської науково практичної конференції «Новітні технології сучасного суспільства, м. Чернігів 12.12.2019 р.

ABSTRACT

Actuality of theme. Conventional trolleybuses have reduced mobility due to the voltage network attachment. Therefore, even in normal operation, the likelihood of complication of trolleybus routing is greater than in normal transport, and in the event of a voltage drop due to icing of power lines, their breakage, de-energization of traction substations, or in the event of malfunctions of the trolleybus. This is a problem for the operation of this route and also complicates the movement of other modes of transport as the number of free lanes decreases. Such delay of the trolleybus will cause congestion and road accident, which will lead to failure to reach full payback of the trolleybus route and failure to comply with the normalized working schedule by the employees. In addition, because of the rigid attachment of trolleybuses to the power lines that feed its traction system, buses run on non-electrified areas, which affects the ecology of the city, and their use is much more expensive than using a trolleybus.

To increase the mobility of trolley buses, it is advisable to use high-voltage batteries instead of the low-voltage ones currently installed. Such batteries, in addition to low-voltage onboard equipment, can feed the trolleybus traction system.

Relationship with working with scientific programs, plans, topics. The dissertation was prepared in accordance with the research plan of the Department of Industrial Electronics of the National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute."

The purpose of the study is to determine the economic effect of using a trolleybus with a high-voltage battery due to the following factors:

- Reduced load on traction substations, because during the acceleration of the trolleybus, additional energy is taken from the battery and during braking, energy is not transferred to the substation but accumulated in the battery;
- Possibility of expanding the trolleybus network to areas with missing power lines;

- Gains in traffic congestion and road accidents;
- Possibility of bypassing the area where power outages occurred.

The object of the study is the types of high-voltage batteries for the combined trolleybus power system.

The subject of the study is to determine the optimal type of battery for the combined trolleybus power supply system and a method for evaluating its efficiency.

The research method is to draw up a map of bus and trolleybus routes of the city of Kyiv and estimate the length of their non-coincident sections in order to determine the required capacity of a high-voltage battery.

Scientific novelty of the obtained results - a new method of extracting energy from the grid using a capacitive drive is proposed.

The practical significance of the results obtained. Kyivpastrans Kyiv Enterprise is recommended to implement a combined power supply system in its trolleybuses, since its use is efficient and cost-effective.

Testing the results of the thesis. The topic of the dissertation was a speech at the all-Ukrainian scientific-practical conference "Modern Technologies of Modern Society".

Publications. The topic of the dissertation was published in the journal "Microsystems, Electronics and Acoustics".

Structure and scope of the thesis. The dissertation consists of an introduction, four sections, conclusions, a list of used sources of 50 titles. The total range of the dissertation is 95 pages, including 81 pages of the main text, 37 figures and 14 tables